



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y
AGRIMENSURA



MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO
URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL
PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

ROSMERY ANAHUA APOMAYTA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TOPOGRAFO Y AGRIMENSOR

PUNO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

- A Dios por guiarme por el camino correcto, por darme salud y bendición, y no abandonarme nunca, para seguir adelante con mis metas y objetivos.
- A mis padres Néstor y Cipriana a quienes le debo toda mi vida, quienes han sabido formarme con buenos sentimientos y valores, lo cual ha sido fundamental para salir adelante buscando siempre el mejor camino.
- A mi querido esposo Darwin Marx y mi hija Katherine Arella, por ser mi fuerza de lucha de cada día para seguir adelante.
- A mis hermanas Verónica y Yeni, por compartir una infancia feliz, por todos los bellos momentos que hemos pasado juntas y las alegrías que nunca olvidare.

Rosmery



AGRADECIMIENTOS

- Mi profundo agradecimiento a mi alma mater Universidad Nacional del Altiplano, por haberme acogido en sus claustros universitarios contribuyendo en mi formación profesional.
- A mi querida Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura y docentes; que contribuyeron en cada etapa de mi formación profesional.
- Mi gratitud también para el Ing. Efraín Turpo Cayo, quien muy atentamente ha impartido nociones de su conocimiento valioso para la consecución de este proyecto.
- A los señores miembros de jurado evaluador cuyos argumentos, críticas y profesionalismo fueron aporte en esta tarea, por su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos que ayudan a formarnos como persona e investigador.
- Gracias de manera general a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo y colaboración desinteresada.

Rosmery



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2. FORMULACIÓN DE PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	15
1.2.1. Pregunta General	15
1.2.2. Preguntas Especificas	15
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.3.1. Hipótesis General	16
1.3.2. Hipótesis Especifica	16
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.4.1. Objetivo General	16
1.4.2. Objetivo Especifico	16
II. REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1. ANTECEDENTES NACIONALES E INTERNACIONALES	17
2.2. ANTECEDENTES LOCALES DE LA CIUDAD DE PUNO	22
2.3. MARCO TEORICO	24
2.3.1. CRECIMIENTO URBANO	24
2.3.2. TIPOS DE SIMULACION.....	26
2.3.3. CLASIFICACION DE MODELO.....	27
2.3.4. AUTÓMATAS CELULARES	29
2.3.5. PESOS DE EVIDENCIA	34



2.4. MARCO CONCEPTUAL Y/O DEFINICIONES BÁSICAS	37
2.4.1. CAMBIO DE USO DE SUELO.....	37
2.4.2. MODELO.....	37
2.4.3. SIMULACIÓN.....	37
2.4.4. MODELAMIENTO DINÁMICO.....	37
2.4.5. MATRIZ DE TRANSICIÓN.....	38
2.4.6. PENDIENTES.....	39
2.4.7. LITOLÓGÍA.....	40
2.4.8. ACCESIBILIDAD A SERVICIOS BÁSICOS.....	41
2.4.9. LOG ODDS Y LA FUNCIÓN LOGIT.....	41
2.4.10. CORRELACIÓN DE PESOS DE EVIDENCIA.....	42
2.4.11. VALIDACIÓN DE LA SIMULACIÓN.....	42
2.4.12. SIMILARIDAD DE FUZZY.....	43
2.4.13. PARÁMETROS INTERNOS DE DINÁMICA.....	44
III. MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.1. MATERIALES	46
3.2. UBICACIÓN DEL ESTUDIO	46
a) Ubicación Política.....	46
b) Ubicación Geográfica.....	46
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	47
3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	47
a) TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	47
b) NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	47
c) DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	47
3.5. METODOLOGÍA DEL MODELAMIENTO	48
3.5.1. DATOS DE ENTRADA.....	49
3.5.2. MODELAMIENTO DINAMICO.....	52



3.5.3. PRONOSTICO AL AÑO 2065	54
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1. RESULTADOS	55
4.1.1. INFORMACION BASICA	55
4.1.2. RASTERIZACIÓN DIRECTA DE LAS VARIABLES	57
4.1.3. ANÁLISIS DE IMÁGENES RASTER EN TERRSET	62
4.1.4. CONFIGURACIÓN DE FORMATO PARA DINÁMICA	65
4.1.5. MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DE USO DE SUELO URBANO BASADO EN AUTÓMATAS CELULARES	69
4.2. DISCUSION	89
4.2.1. MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DE USO DE SUELO URBANO BASADO EN AUTÓMATAS CELULARES	89
V. CONCLUSIONES	92
VI. RECOMENDACIONES	93
VII. REFERENCIAS	94
ANEXOS	98

TEMA: Sistemas de Información Geográfica

ÁREA: Ciencias Naturales

FECHA DE SUSTENTACIÓN 30 DE JULIO DEL 2020



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº 1: Tipos de crecimiento urbano. (Leon, 2015)	26
Figura Nº 2: Desarrollo de los autómatas celulares y su aplicación a estudios urbanos. (Leon, 2015).....	29
Figura Nº 3: Vecindad de un Autómata Celular de von Neumann.	33
Figura Nº 4: Vecindad de un Autómata Celular de Moore.	33
Figura Nº 5: Esquema de pesos de evidencia.....	35
Figura Nº 6: Esquema de proceso de simulación.....	48
Figura Nº 7: Esquema de accesibilidad.....	50
Figura Nº 8: Flujo SIG de proceso del sub modelo auxiliar de Accesibilidad a Vías Principales	51
Figura Nº 9: Flujo SIG de proceso del sub modelo auxiliar de Accesibilidad a Servicios importantes.....	51
Figura Nº 10: Datos de entrada para la generación de Matriz de transición	52
Figura Nº 11: Entorno de cálculo de pesos	53
Figura Nº 12: Entorno de Validación del Modelo	54
Figura Nº 13: Mapa de área urbana 1974	55
Figura Nº 14: Mapa de área urbana 2019.	55
Figura Nº 15: Mapa de litoestratigrafía.....	56
Figura Nº 16: Mapa de vías de acceso	57
Figura Nº 17: Ráster del área urbana 1974.....	58
Figura Nº 18: Ráster del área urbana 2019.....	58
Figura Nº 19: Ráster mapa de pendiente en función al coste.....	59
Figura Nº 20: Ráster mapa de litoestratigrafía.	60
Figura Nº 21: Ráster de accesibilidad a Vías principales	61
Figura Nº 22: Ráster de accesibilidad a Servicios importantes.....	62
Figura Nº 23: Visualización de parámetros de ráster.	63
Figura Nº 24: Cruce de tabulación de mapas del año 1974 y 2019.....	64
Figura Nº 25: Exportación al formato ER Mapper.....	65
Figura Nº 26: Visualización de salida de atributos para variables categóricas.....	66
Figura Nº 27: Visualización de salida de atributos para variables continuas. ..	67
Figura Nº 28: Visualización de configuración de cubo mixto	68
Figura Nº 29: Variables dinámicas	69



Figura N° 30: Variables estáticas.	70
Figura N° 31: Entorno de rango de pesos de evidencia	72
Figura N° 32: Determinar los parámetros de la categorización.....	73
Figura N° 33: Coeficiente de pesos de evidencia en distancia a la zona urbana	77
Figura N° 34: Coeficiente de pesos de evidencia en accesibilidad a servicios	77
Figura N° 35: Coeficiente de pesos de evidencia en accesibilidad a vías principales	78
Figura N° 36: Coeficiente de pesos de evidencia en litoestratigrafía.....	79
Figura N° 37: Entorno de correlación de pesos de evidencia	80
Figura N° 38: Reclasificación del LUCC.....	82
Figura N° 39: Visualización del expander y patcher	82
Figura N° 40: Visualización para generar el área de expander y patcher.....	83
Figura N° 41: Entorno de simulación del modelo.....	84
Figura N° 42: Ingreso de parámetros de Expander y Patcher	84
Figura N° 43: Mapa observado vs Mapa modelado año 2019.....	85
Figura N° 44: Cambios de área observado vs modelado año 2019.....	85
Figura N° 45: Entorno de Validación del Modelo.....	86
Figura N° 46: Mapa de proyección para el año 2065.	88



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº 1: Clasificación de Fases por Pendiente.....	39
Tabla Nº 2: Unidades Litoestratigráficas.....	40
Tabla Nº 3: Código de Identificación.....	56
Tabla Nº 4: Coste en pendientes.....	59
Tabla Nº 5: Unidades Litoestratigráficas.....	60
Tabla Nº 6: Vías de acceso según coste.....	61
Tabla Nº 7: Tabulación de mapas.....	63
Tabla Nº 8: Clases de los mapas de entrada.....	69
Tabla Nº 9: Análisis de transición entre los años 1974 y 2019 (ha).....	70
Tabla Nº 10: Transición en el periodo de 1974 y 2019 en %.....	71
Tabla Nº 11: Matriz de transición simple.....	71
Tabla Nº 12: Matriz de transición múltiple.....	71
Tabla Nº 13: Probabilidad de pesos de distancia a la zona urbana.....	75
Tabla Nº 14: Probabilidad de pesos en accesibilidad a servicios.....	77
Tabla Nº 15: Probabilidad de pesos en accesibilidad a vías principales.....	78
Tabla Nº 16: Probabilidad de pesos litoestratigrafía.....	78
Tabla Nº 17: Calculo de asociación espacial.....	80
Tabla Nº 18: Análisis de transición de no urbano a urbano.....	81
Tabla Nº 19: Parámetros de Expander y Patcher.....	83
Tabla Nº 20: Validación por Índice de Similaridad de Fuzzy.....	87
Tabla Nº 21: Cambio de uso no urbano a Urbano, periodo 2019-2065.....	88
Tabla Nº 22: Cambio de uso no urbano a Urbano, periodo 1974-2019.....	89



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AC	-	Autómatas celulares
GPS	-	Sistema de posicionamiento global
INGEMET	-	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
LANDSAT	-	Land Remote Sensing Satellite
NASA	-	La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio
SIG	-	Sistema de Información Geográfica
USGS	-	Servicio Geológico de los Estados Unidos
UTM	-	Universal Transversal de Mercator
DEM	-	Digital Elevation Model (Modelo de elevación digital)
EGO	-	Environment for Geoprocessing Objects
M.S.N.M.	-	Metros sobre el nivel medio del mar
LUCC	-	Land Use and Cover change (Cambio de cobertura y uso del suelo)
MINAGRI	-	Ministerio de Agricultura y Riego
PDU	-	Plan de Desarrollo Urbano



RESUMEN

La presente investigación se realizó en la ciudad de Puno, ubicado dentro de la cuadrícula en las coordenadas Este : 384800, 401800 y Norte: 8240000, 8258000, Altitud promedio: 3820 m.s.n.m., en el sistema de coordenadas UTM WGS-84 zona 19 sur, el cual tiene la finalidad de predecir el crecimiento urbano de la ciudad de Puno, ya que durante los últimos años se ha apreciado una gran expansión y la aparición de nuevas manchas urbanas, el área urbana creció debido a la migración de la población rural que se ha instalado en las áreas de la ciudad de Puno, la misma que a falta de planificación adecuada y la falta de difusión del planeamiento urbano de la municipalidad con la cual cuentan en su Plan de Desarrollo Urbano, por ello la expansión viene desarrollándose de manera desordenada. Por ello el objetivo de esta investigación es modelar la dinámica espacial del crecimiento urbano basado en autómatas celulares y así mismo identificar los factores físico espaciales determinantes que influyen en el crecimiento urbano. Para el modelamiento se consideró mapas del año 1974 al año 2019 como variables dinámicas, en este lapso se encontró un incremento de área urbana de 1,436 ha, con ello se determinó que los factores determinantes para el crecimiento urbano son la pendiente, litoestratigrafía, la accesibilidad a servicios y la accesibilidad a vías principales, realizada la validación del modelo simulado al año 2019 y con lo observado en el año 2019, se obtuvo un resultado mediante el análisis de similaridad de fuzzy un 70% de similaridad para celdas de 5 x 5, que se interpreta como un resultado aceptable para el modelo dinámico espacial, a partir de los pesos de evidencia obtenido en el modelamiento, se ha tomado como año inicial el área urbana observado del año 2019 para la simulación del modelo para el año 2065. Los resultados de los escenarios posibles de este modelo identifican que las zonas de Totorani, Patallani, Urus Chulluni, Mi Peru, Jayllihuaya e Ichu, tienen mayores posibilidades a urbanizarse.

Palabras Clave: *Crecimiento urbano, autómatas celulares, modelamiento dinámico espacial y pesos de evidencia*



ABSTRACT

The present investigation was carried out in the city of Puno, located within the grid at the coordinates East: 384800, 401800 and North: 8240000, 8258000, Average altitude: 3820 m.s.n.m.m., in the UTM coordinate system zone 19 south, which has the proposal to predict the urban growth of the city of Puno, since during the last years a great expansion has been appreciated and the appearance of new urban spots, the urban area grew due to the migration of the rural population that It has installed in the areas of the city of Puno, the lack of adequate planning and the lack of dissemination of the urban planning of the municipality that it has in its Urban Development Plan, for which reason the expansion has been developing in a disorderly manner. Therefore, the objective of this research is to model the spatial dynamics of urban growth based on mobile automata and also to identify the determining spatial physical factors that influence urban growth. For the modeling, maps from the year 1974 to the year 2019 are considered as dynamic variables, in this period there is an increase in the urban area of 1,436 ha, with which it is determined what determining factors for urban growth are the slope, lithostratigraphy, accessibility to services and accessibility to main roads, performed the validation of the simulated model to the year 2019 and with the follow-up in the year 2019, obtained a result by analyzing the fuzzy similarity up to 70% similarity for 5 x 5 cells, which It is interpreted as an acceptable result for the spatial dynamic model, from the weights of evidence obtained in the modeling, the observed urban area of the year 2019 has been taken as the initial year for the simulation of the model for the year 2065. The results of The possible scenarios of this model identify the areas of Totorani, Patallani, Urus Chulluni, Mi Perú, Jayllihuaya and Ichu, which have greater possibilities of urbanization.

Key Words: *Urban growth, cellular automata, spatial dynamic modeling and weights of evidence*



I. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Puno creció moderadamente durante 1668 a 1954, pero a partir de 1970 comienza a expandirse a un ritmo acelerado de 41.26 ha por año; en ese entonces (1970) Puno tenía 40,453 habitantes en 281 ha, hay un crecimiento urbano desordenado producto de los asentamientos humanos en la periferia de la ciudad, el crecimiento urbano llegando al año 2005 a crecer la ciudad a un promedio de 26.48 ha por año, aun así, la cifra revela un crecimiento sostenido que predice que, de mantenerse este ritmo, la población de la ciudad se duplicaría aproximadamente para el año 2050 (MPP, 2012-2022).

Con los objetivos planteados en esta investigación los cuales son modelar y simular el crecimiento urbano dinámico espacial de la ciudad de Puno, esto mediante los Autómatas Celulares entre los años 1974 al 2019, así mismo se analizó las variables que intervienen en su dinámica de crecimiento (La pendiente, accesibilidad a servicios básicos, accesibilidad a vías principales y litoestratigrafía), con sus pesos de evidencia se ha calibrado y validado el modelo observado y simulado al año 2019.

Tomando en cuenta los pesos de evidencia obtenidos en calibración validada del modelo entre los años 1974 al 2019 se ha proyectado la expansión y nuevas manchas urbanas para el año 2065 en la ciudad de Puno.

El presente trabajo de investigación comprende lo siguiente:

- I. Introducción (hipótesis y objetivos)
 - II. Revisión de literatura (Antecedentes y base teórica)
 - III. Materiales y métodos (Metodología)
 - IV. Resultados y discusión
 - V. Conclusiones
 - VI. Recomendaciones
 - VII. Referencias
- Anexos.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El constante crecimiento urbano de la ciudad de Puno sin ningún tipo de planeamiento urbano ocasiona un crecimiento desordenado, debido a que se deja mucho espacio entre el radio urbano y/o continuidad de la ciudad el cual es un problema porque el estado deja desatendido con los servicios básicos que la población nueva necesita.

El crecimiento poblacional debido a la migración tanto de ciudades vecinas, ciudades intermedias y de las áreas rurales afectan al crecimiento urbano.

La persona migrante con el pasar del tiempo según su condición económica optan por acceder a una propiedad sin ningún tipo de orientación y/o asesoramiento. Lo que ocasiona un crecimiento de la zona urbana de forma desordenada y dispersa.

Los planes de desarrollo urbano carecen de modelos de proyección dinámica espacial, en el caso del planeamiento urbano de la ciudad de Puno falta un modelo que permita observar la proyección de su crecimiento urbano en los próximos años; es así que la presente investigación, valiéndose de los avances tecnológicos, métodos y sus herramientas de análisis, propone dar respuesta al crecimiento urbano al año 2065.

1.2. FORMULACIÓN DE PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Pregunta General

- ¿El modelo dinámico espacial basado en autómatas celulares simula y predice el crecimiento urbano entre los años 1974 al 2065 en la ciudad de Puno?

1.2.2. Preguntas Específicas

- ¿Cuáles son los factores predominantes que influyen en el crecimiento urbano?
- ¿Es válido el modelo dinámico espacial basado en autómatas celulares entre los años 1974 al 2019 para simular el crecimiento urbano para el año 2065?
- ¿Es verdad que el crecimiento urbano de la ciudad de Puno para el año 2065 se proyecta en las áreas denominadas Totorani y Mi Perú?



1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis General

- El modelo dinámico espacial basado en autómatas celulares simula y predice aceptablemente los escenarios dinámicos del crecimiento urbano entre los años 1974 al 2065 en la ciudad de Puno.

1.3.2. Hipótesis Específica

- Los factores predominantes para el crecimiento urbano es la topografía y las vías de acceso al año 2065.
- El modelo dinámico espacial basado en autómatas celulares es válido entre los años 1974 al 2019 lo que permite simular el crecimiento urbano para el año 2065.
- El crecimiento predominante en la ciudad de Puno para el 2065 se emplaza en las áreas denominadas Totorani y Mi Perú.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

- Modelar y simular el crecimiento urbano dinámico espacial mediante autómatas celulares entre los años 1974 al 2065 de la ciudad de Puno.

1.4.2. Objetivo Específico

- Identificar factores físico espaciales, que determinan el crecimiento urbano al año 2065 hacia determinadas zonas en la ciudad de Puno.
- Calibrar y validar el modelo de simulación dinámico espacial basado en autómatas celulares del crecimiento urbano de los años 1974 al 2019 en la ciudad de Puno.
- Simular el crecimiento urbano al año 2065 en la ciudad de Puno.



II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES NACIONALES E INTERNACIONALES

(Arellano & Castro, 2019) en su tesis “Modelamiento del crecimiento urbano en el Cantón Ibarra al año 2025 para la planificación del uso y ocupación del suelo” considera lo siguiente: el crecimiento urbano en el Cantón Ibarra se caracteriza por una urbanización desordenada y dispersa, en las áreas periféricas de la ciudad, reduciendo los espacios verdes y coberturas de vegetación natural, generando así una mayor demanda de infraestructura y servicios necesarios para estas nuevas zonas urbanas en las parroquias rurales. Como solución a este problema se plantea el modelamiento del crecimiento urbano en el cantón Ibarra al año 2025 para la planificación del uso y ocupación del suelo, para esto se calibraron los modelos multivariable de redes neuronales y autómatas celulares con algoritmos genéticos (dinámica) para el periodo 1996 – 2010, estos modelos se compararon a través del cálculo del índice de mínima similitud al año 2016.

(Linares & Picone, 2018) en su revista publicada como “Modelización de la expansión urbana y su impacto en el paisaje natural mediante Sistemas de Información Geográfica y Autómatas Celulares. Caso de estudio: Tandil, Argentina” considera lo siguiente: Los impactos ambientales del proceso de urbanización son una preocupación constante en la comunidad. Dichos procesos generan impactos sobre los ecosistemas, los recursos hídricos, el clima y en la salud de su población. Poder conocer cuáles son los posibles escenarios de urbanización y los probables impactos sobre el ambiente es central para poder generar planes de ordenamiento territorial que mejoren la sustentabilidad de dicho proceso. La modelización de procesos urbanos a partir de autómatas celulares permite el estudio de procesos complejos con modelos simples. La combinación de modelos de autómatas celulares y Sistemas de Información Geográfica presenta una gran potencialidad para analizar estos procesos. Este trabajo propone modelizar los cambios de usos del suelo en espacios urbanos con el propósito de conocer el impacto del crecimiento urbano en es la conservación del paisaje natural. Los resultados mostraron que, de seguir el actual ritmo de crecimiento y sus características,



la ciudad aumentaría su área urbanizada unas 1.632 ha. De ese crecimiento el 75 % se produciría sobre áreas no edificadas a densificar, pero el 25 % restante se produciría sobre el área de paisaje natural protegido. Esto significaría una pérdida del 10 % del total del área de Paisaje Protegido, con una reducción significativa de los servicios ecosistémicos que el mismo brinda al área.

(Díaz, 2015) en su tesis “Ciudades, Autómatas Celulares y Sistemas Complejos. Evaluación de un Modelo Dinámico de Cambio de Usos de Suelo Urbano en Madrid” considera los modelos geográficos y dinámicos de cambio de usos del suelo han tenido un desarrollo innegable unido al perfeccionamiento de las bases de datos y los programas informáticos de tratamiento de la información espacial. En un principio, como en el mismo desarrollo de la informática, los modelos geográficos computacionales, basados en teorías positivistas y econométricas, comenzaron a operar de la mano de la estadística, la linealidad, el equilibrio y el reduccionismo. Posteriormente, y también unido al modo en que evolucionaba la programación informática y los algoritmos adaptativos, los modelos geográficos comienzan a introducir la teoría de la complejidad para el estudio de los sistemas dinámicos no lineales, lejos del equilibrio y emergentes.

(Ticona, 2015) en su tesis “Modelo de Crecimiento de la mancha urbana de la ciudad El Alto usando autómatas celulares” considera como objetivo general: Desarrollar un modelo de simulación que refleje el crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de El Alto, a partir de datos reales, para un análisis y predecir el crecimiento demográfico y poblacional, que permita plantear políticas de desarrollo sostenible, aplicando autómatas celulares.

(Leon, 2015) en su tesis “Generación de un modelo predictivo de crecimiento urbano mediante la técnica de Autómatas Celulares. Aplicación a la zona conformada por las parroquias: Conocoto, Guangopolo, Alangasi, La Merced y San Rafael” considera Generar un modelo de predicción del crecimiento urbano para la zona conformada por las parroquias Conocoto, Guangopolo, alangasi, La Merced y San Rafael.



(Montoya, 2014) en su artículo “Modelos predictivos urbanos basados en Automatas Celulares” menciona la evolución en la dinámica de las ciudades donde se pierde la noción de equilibrio para ser sustituido por una verdadera mezcla de caos, desorden, y variaciones representados por patrones y procesos que dan lugar a morfologías cambiantes y redes e interacciones que sostienen las ciudades a través de su transporte y cómo estos procesos de movimiento y la movilidad puede dar lugar a la difusión y la segregación de diferentes actividades espaciales.

(Berreira, Gomez, & Aguilera, 2015) en su artículo científico “Simulación del crecimiento urbano y modelos basados en autómatas celulares: el uso de parcelas catastrales vectoriales a partir de la teoría de grafos” Para alcanzar este objetivo, es necesario conseguir una importante flexibilización de la estructura formal de los modelos basados en Autómatas Celulares. La división espacial basada en el parcelario catastral supondrá la implementación del modelo en formato vectorial. Como consecuencia, y para poder reducir los elevados tiempos de cálculos asociados al manejo de datos y realización de análisis en este modelo de datos, es necesario adoptar nuevas soluciones computacionales, que en nuestro caso se han materializado mediante la utilización de la teoría de grafos para representar la información de partida y llevar a cabo la posterior ejecución del modelo.

(Polidori, Saravia, Peres, Toralles, & Tomiello, 2015) en su artículo científico “Los bordes de la ciudad y la simulación del crecimiento urbano con autómatas celulares” considera como objetivo general: Las simulaciones de crecimiento urbano utilizando autómatas celulares han mostrado diferencias en los bordes de expansión en comparación con otras partes de la ciudad, con concentración en las interfaces urbanas y rurales y las zonas más urbanizadas con las menos urbanizados. Esta concentración tiende a delimitar frentes de expansión en forma de línea, con borde de determinación y comportamiento diferente del resto del sistema, donde se puede observar simultáneamente concentración y exclusión, células con alto potencial para la conversión, y baja concentración de factores urbanos positivos.

(Barreira, Aguilera, & gomez, 2015) en su artículo científico “Propuesta de validación parcial de modelos de simulación de crecimiento urbano basados en autómatas celulares mediante análisis de sensibilidad”



considera como objetivo general: La geosimulación de los procesos urbanos ha cobrado especial importancia en los últimos años, como herramienta para desarrollar metodologías y procedimientos que nos permitan estimar el impacto que el crecimiento urbano provocará en el futuro. Concretamente, los modelos basados en autómatas celulares (AC) son los que más difusión han tenido, dada su capacidad para reproducir la tendencia y las características intrínsecas de estas dinámicas.

(Aguilera & Valenzuela, 2010) en su artículo científico “Simulación de escenarios futuros en la aglomeración urbana de granada a través de modelos basados en autómatas celulares” considera como objetivo general: El planteamiento de escenarios futuros alternativos de desarrollo metropolitano constituye una oportunidad de explorar las posibles tendencias futuras de las formas, patrones, e intensidades de crecimiento urbano que las áreas metropolitanas experimentan en la actualidad. En este sentido, los modelos de simulación son herramientas útiles para la espacialización de los escenarios futuros, y que, por tanto, pueden ayudar en la valoración espacial de las consecuencias de dichas tendencias.

(Pascual, 2010) en su artículo científico “Simulación de Modelos de crecimiento urbano, métodos de comparación con los mapas reales” considera como objetivo general: El proceso de crecimiento urbano, industrial y comercial producido en la Comunidad de Madrid de 1990 a 2000 mediante las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) y Autómatas Celulares (AC) y comparar los resultados de ambas técnicas con la realidad del año 2000. Utilizando como base cartográfica del crecimiento urbano la cobertura de usos del suelo, el Corine Land Cover, para los años 1990 y 2000, se construyó una base de datos cartográfica de la zona de estudio que incluye distintos factores, tanto ambientales como sociales, que fueron empleados.

(Cifuentes & Londoño, 2010) en su artículo científico “Análisis del crecimiento urbano: Una aproximación al estudio de los factores de crecimiento de la ciudad de Manizales como aporte a la planificación” considera como objetivo general: Estudiar el crecimiento urbano de la ciudad de Manizales, Colombia, e identificar los factores que han contribuido al mismo, desde el año 1854 hasta el año 2003. Se logró conocer cómo ha sido



el crecimiento de la ciudad de Manizales y los factores que han influido para su estructuración urbana a partir de la información disponible.

(Aguilera B. F., 2006) en su artículo científico “Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares” considera lo siguiente: En este trabajo se presentan dos modelos de predicción del crecimiento urbano elaborados para el Área Metropolitana de Granada, junto con la cartografía del crecimiento urbano de dicha zona en los últimos 30 años. Los modelos de predicción elaborados están basados uno en la regresión logística y otro en Autómatas Celulares. Para la calibración y validación de estos modelos se han realizado varias simulaciones ex – post para el período 1974-1999, que han sido comparadas mediante distintos métodos con la cartografía elaborada correspondiente a dicha fecha, mostrando los resultados una mayor fiabilidad para el modelo basado en autómatas celulares. Finalmente se ha empleado este modelo para realizar un escenario futuro de crecimiento para la fecha de 2014.



2.2. ANTECEDENTES LOCALES DE LA CIUDAD DE PUNO

(Carrillo & Choquehuanca, 2019) en su tesis considera como objetivo general: Analizar la dinámica de la expansión urbana de la ciudad de Puno entre los años 1980 y 2017, utilizando técnicas de teledetección mediante uso de imágenes de satélite y análisis multitemporal.

(GRP, 2015) Menciona que la ciudad cuenta con condiciones físicas del territorio a un nivel medio, pero debido a la importancia que tiene la ciudad ya que es capital del departamento tiene accesibilidad a los servicios básicos, sociales y económicos, es por ello que en este caso toda la expansión que se muestra en el mapa tiene un valor alto mas no muy alto debido a las condiciones físicas del suelo que no son tan adecuados. Las aptitudes urbanas e industriales (expansiones urbanas) que se muestran en el mapa están ubicadas en el Centro Poblado de Alto Puno hacia el Centro Poblado de Totorani, debido al asfaltado de la carretera de Puno a Tiquillaca, Vilque, Mañazo, que es la nueva ruta hacia la ciudad de Arequipa, dichos terrenos cercanos a los centros poblados anteriormente mencionados ya están lotizados y en un futuro no muy lejano tendrá la misma expansión de la ciudad de Puno. Otro lugar que muestra como expansión urbana es hacia la salida a Moquegua, en la comunidad denominada Mi Perú, dichos terrenos también ya están lotizados. También se muestra una aptitud urbana hacia el lado sur de la ciudad con condiciones físicas del territorio de un valor medio, pero debido al crecimiento de la población será también un centro urbano, nos referimos al Centro Poblado de Jallihuaya.

ROLES Y FUNCIONES DEL CENTRO URBANO EN SU ÁMBITO DE INFLUENCIA:

(MPP, 2012-2022) Indica que, en términos político – administrativos, la ciudad de Puno acapara todos los órganos de gestión del departamento, razón por la cual, diariamente recibe una población flotante importante y que nunca ha sido tomada en cuenta para los cálculos y demandas de servicios públicos, así como para los cálculos de área verde que, según la OMS, deberían ser de 10 a 20 m² por habitante para garantizar niveles básicos de salubridad e higiene ambiental. A nivel regional, la ciudad de Juliaca, ubicada a 43 km de Puno, lidera el movimiento comercial de la región y atrae a su



vez, a un importante caudal de población de la Ciudad de Puno que diariamente se moviliza hacia allá. El paso de un ramal de la transoceánica por el borde superior de la ciudad será también contemplado porque imprimirá una nueva dinámica a la ciudad, la misma que debe ser analizada en sus consecuencias para el ordenamiento territorial.

LÍMITES DEL CRECIMIENTO

(MPP, 2012-2022) indica que los procesos de apropiación del territorio suelen amoldarse al mismo con un patrón “líquido” que se esparce por las Microcuencas en pendientes menores al 30%, ya que éstas contienen las áreas más accesibles. La ocupación de terrenos en pendientes mayores al 30% les trae consecuencias, como la alta susceptibilidad a desestabilizarse por amenazas sísmicas o saturación de los suelos naturales y de relleno poco consolidado, infraestructura costosa y difícil acceso. Las consecuencias sociales y culturales derivadas de los asentamientos en pendientes fuertes son: dificultad en la prestación de servicios públicos como limpieza pública y transporte; inseguridad; dificultades de acceso a los centros educativos; dificultad en las campañas con la comunidad; dificultad en la atención de desastres como evacuación de heridos y enfermos; sensación de abandono por parte del Estado; desmotivación y cambios en la escala de valores de sus moradores. Dentro de las consecuencias culturales se incluyen: tenencia de la tierra la propiedad se reduce a lotes con áreas muy reducidas, alta densidad de viviendas y población, materiales de construcción de las viviendas de baja calidad, carencia de asesoría técnica adecuada para la construcción de las viviendas, las edificaciones sufren cambios permanentes con frecuencia son ampliadas y se sustituyen los materiales de construcción de adobe por materiales más pesados, pocas alternativas para el mejoramiento de la vivienda por estar en zonas de riesgo, falta de oportunidades de trabajo de los habitantes y finalmente, desconocimiento de la comunidad de los límites de resistencia del medio ambiente y del territorio.



2.3. MARCO TEORICO

2.3.1. CRECIMIENTO URBANO

(Arellano & Castro, 2019) Refiere lo siguiente que el crecimiento urbano es un fenómeno dinámico cuya velocidad y magnitud se ha acelerado en las últimas décadas, se ha visto impulsado por el crecimiento económico, la industrialización, el desarrollo agrícola y el aumento de la población urbana, generando como consecuencia la expansión de nuevos espacios urbanizados, resultado de un proceso complejo, condicionado por el medio físico y factores socio-económicos y políticos que interactúan entre sí.

(Jaramillo, 2016) Menciona que a medida que el crecimiento urbano continúa es necesario extender la infraestructura de la ciudad; vías de transporte, equipamiento, servicios públicos, entre otros; para satisfacer las necesidades de la población que llega a ocupar estas nuevas áreas (Giraldo, 1999). El crecimiento puede darse de dos formas, esto dependiendo de la naturaleza de los procesos de urbanización que se den; urbanización planeada y urbanización no controlada (Molina, 1982).

(BancoMundial, 2019) Indica que, en la actualidad, más de 4000 millones de habitantes en todo el mundo más del 50 % de la población mundial viven en ciudades. Se cree que esta tendencia continuará. En 2065, la población urbana se duplicará, y casi 7 de cada 10 personas vivirán en ciudades. Dado que más del 80 % del producto interno bruto (PIB) mundial se genera en las ciudades, la urbanización si se gestiona adecuadamente puede contribuir al crecimiento sostenible, aumentando la productividad y facilitando la innovación y el surgimiento de nuevas ideas. Sin embargo, el ritmo y la magnitud de la urbanización plantea desafíos, como satisfacer la creciente demanda de viviendas asequibles, de sistemas de transporte bien conectados y de otros tipos de infraestructuras y servicios básicos, así como de empleo, en particular para los casi 1000 millones de pobres que viven en asentamientos urbanos informales para estar cerca de las oportunidades.

(Ocampo, 2017) Menciona que es importante establecer aquí que uno de los factores más importantes del crecimiento urbano, está asociada al desarrollo sostenible, en tanto el crecimiento urbano debe estar asociado a la protección de recursos naturales, es importante destacar que la falta de planificación urbana, no asegura que se pueda cumplir con el cuidado al



medio ambiente que se establece como pacto mundial. La optimización de los recursos de las ciudades exige que se preste una atención cuidadosa a la ordenación de los espacios urbanos.

A. MANCHA URBANA

(Ticona, 2015) Indica que se refiere al área que ocupa la población en una ciudad. Esta mancha crece a diario, debido a que mucha gente emigra del campo y va aumentando el número de habitantes y de viviendas se conoce como dispersión urbana, dispersión suburbana, urbanización por derrame o sub-urbanización por derrame (traducido del inglés urban sprawl), al fenómeno de propagación de una ciudad y sus barrios hacia la tierra rural en la periferia de una zona urbana.

B. TIPOS DE CRECIMIENTO URBANO

(Leon, 2015) Afirma que existen tres tipos de crecimiento urbano los cuales son:

- **Relleno**

El cual hace referencia a las áreas no urbanas rodeadas por áreas urbanas, que son convertidas en zonas urbanas.

- **Expansión de bordes**

La expansión de bordes o conocidos también como zonas periféricas hace una referencia a las nuevas áreas edificadas, diferente a lo anterior son una extensión urbana preexistente.

- **Crecimiento nuevo o disperso**

El crecimiento nuevo o disperso es conformado por las nuevas zonas edificadas que no tiene una conexión espacial con la extensión urbana preexistente.

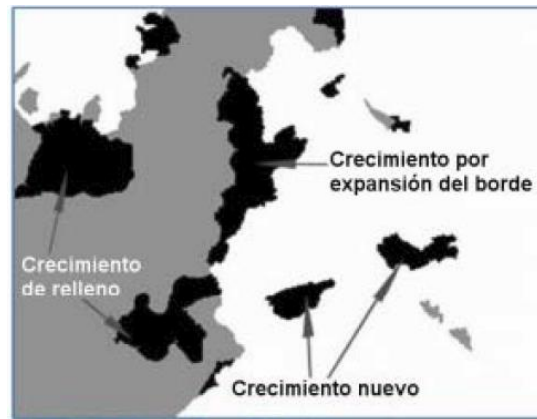


Figura N° 1: Tipos de crecimiento urbano. (Leon, 2015)

2.3.2. TIPOS DE SIMULACION

A. SIMULACIÓN DISCRETA

(Ticona, 2015) Menciona que tiene que ver con el modelado de un sistema que evoluciona en el tiempo, mediante una representación en la cual las variables de estado cambian instantáneamente, esto es cuando ocurren diferentes eventos. Aunque la simulación discreta podría conceptualmente ser realizada mediante cálculos manuales, la cantidad de datos que deben ser almacenados y manipulados en la mayoría de los sistemas del mundo real, el cual obliga a que la simulación discreta sea realizada en computadoras digitales.

B. SIMULACIÓN CONTINUA

(Ticona, 2015) Menciona que se aplican cuando las variables de estado cambian continuamente con respecto al tiempo. Por consiguiente, los modelos de simulación continua involucran ecuaciones diferenciales que dan relaciones para las tasas de cambio de las variables con el tiempo. Si las ecuaciones diferenciales son particularmente simples, pueden ser resueltas para dar valores a las variables de estado para todos los valores del tiempo con una función de los mismos en el tiempo 0 o inicial. Sin embargo, para la mayoría de los modelos continuos, no son posibles las soluciones analíticas, y se usan técnicas de análisis numérico.

C. SIMULACIÓN DISCRETO – CONTINÚA COMBINADA

(Ticona, 2015) Menciona que como algunos sistemas no son completamente discretos, ni continuos, es por eso que se tiene la necesidad de construir un modelo, tanto de simulación discreta como continua, y se obtendrá un resultando de una simulación combinada Discreta – Continua.

D. SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES

(Ticona, 2015) Menciona es un enfoque computacional que permite crear sociedades artificiales para estudiar el comportamiento global que emerge desde la interacción de agentes individuales operando en un determinado entorno bajo reglas limitadas, solo por la información y la capacidad de procesamiento de cada uno.

2.3.3. CLASIFICACION DE MODELO

(Ticona, 2015) Indica que existen varias clasificaciones de modelos basados en diferentes criterios, aquí presentamos algunos de ellos:

a) SEGÚN LA EVOLUCION DEL TIEMPO

Dinámicos

Al transcurrir el tiempo todos o algunos de sus atributos son modificados o cambiados. Son utilizados para representar sistemas cuyo estado varía con el tiempo.

Estáticos

Modelos en el que los atributos no cambian o modifican durante el tiempo que se lo utiliza. Son aquellos modelos que no toman en cuenta, explícitamente, a la variable tiempo.

b) SEGÚN ALEATORIDAD

Determinísticos

Son modelos donde la solución para determinadas condiciones es única y siempre la misma. Existe estricta casualidad, por lo tanto, se puede hablar de variables dependientes e independientes.



Estocásticos

Representan sistemas donde los hechos suceden al azar, lo cual no es repetitivo. No se puede asegurar cuales acciones ocurren en un determinado instante. Se conoce las probabilidades de ocurrencia y su distribución probabilística. Se habla de casualidad y por consiguiente de las variables controlables y las incontrolables.

c) SEGÚN EL CAMBIO DE ESTADO EN EL TIEMPO

Continuos

Representan sistemas cuyos cambios de estado son graduales. Las variables intervinientes son continuas.

Discretos

Representa sistemas cuyos cambios de estados son de entradas. Las variables varían en forma discontinua.

Categoricos

Representa un valor asignado a cada unidad individual sobre alguna característica cualitativa.

d) MODELOS ANALOGICOS Y MODELOS DIGITALES

Analógicos:

Son modelos que están codificados en cifras. Son modelos físicos, como los ya mencionados como una maqueta como modelo icónico, o un mapa convencional como modelo análogo.

Digitales:

Los modelos digitales son, por tanto, modelos simbólicos y para construirlos es necesario un proceso de codificación de la información, que permite una representación virtual mediante por medios informáticos.

2.3.4. AUTÓMATAS CELULARES

(Leon, 2015) Menciona que los autómatas celulares son sistemas discretos dinámicos, es decir que en ellos no se presenta una variación continua de los parámetros. Pueden definirse como sistemas dinámicos espaciales muy simples, en que el estado en cada una de las celdas en una matriz, depende del estado previo de las celdas en su cercanía siguiendo un conjunto de reglas de transición. Debido a que el sistema es discreto, opera iterativamente e implica interacciones al interior de áreas locales, antes que, entre pares de celdas, resulta muy eficiente desde un punto de vista computacional. Por esta razón es posible aplicarlo a trabajos con grillas que contienen miles de celdas, como es el caso del trabajo con sistemas de información geográfica.



Figura N° 2: Desarrollo de los autómatas celulares y su aplicación a estudios urbanos. (Leon, 2015)



(Ticona, 2015) Menciona que los autómatas celulares son sistemas dinámicos discretos cuyos elementos tienen una interacción constante entre sí tanto en el espacio como en el tiempo. Los autómatas celulares tienen la capacidad de representar comportamientos complejos a partir de una dinámica sencilla. Debido a esto, desde su origen se les ha utilizado como elementos de la computación para la modelación de fenómenos biológicos y físicos. Además, los autómatas celulares son estudiados como objetos matemáticos debido al interés intrínseco relativo a los aspectos formales de su comportamiento. Por consiguiente, se dará algunos antecedentes sobre el origen de la teoría de autómatas celulares.

(Montoya, 2014) Menciona que un autómata celular es un modelo matemático para un sistema dinámico o complejo que evoluciona en pasos discretos, con ello se puede lograr modelar sistemas naturales o artificiales que pueden ser descritos como una colección de objetos simples que interactúan localmente unos con otros.

Se aplica en:

- En el estudio de evolución de ecosistemas en biología.
- En detección de fuegos en el bosque.
- Simulación del tráfico en las ciudades.
- Crecimiento de ciudades

El aspecto que más caracteriza a los autómatas celulares es su capacidad para dotar al conjunto de elementos del sistema, visto como un todo, con una serie de propiedades emergentes inducidas por su propia dinámica.

Un Autómata Celular, representa un modelo matemático de un sistema dinámico que evoluciona en pasos discretos:

- **Modelo matemático:** porque permite expresar los fenómenos de la vida real en forma matemática, es decir hacer aproximaciones de la realidad física y predicciones para generar escenarios futuros.



- **Sistema dinámico:** porque es un sistema complejo que presenta cambio o evolución de su estado en un tiempo.
- **Pasos discretos:** se dice discreto si el tiempo se mide en pequeños lapsos, entonces denota los pasos discretos del tiempo, es decir que el Autómata Celular se caracteriza por sus propiedades discretas en el espacio, tiempo y valores de estado.

2.3.4.1. AUTÓMATAS CELULARES PARA EL MODELADO URBANO

(Almeida, 2003) Indica que los modelos de AC se han vuelto populares en gran parte porque son tratables, tienen una simplicidad operativa increíble, generan dinámicas que pueden reproducir procesos de cambio de difusión tradicionales y contienen suficiente complejidad para simular cambios inesperados y sorprendentes como los que se ven en Fenómenos emergentes. Estos modelos son flexibles, en el sentido de que proporcionan una estructura no sobrecargada con supuestos teóricos, y que es aplicable a un espacio representado como una cuadrícula. Estos modelos pueden, por lo tanto, articularse con datos de matriz, comúnmente utilizados en SIG.

2.3.4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS AUTÓMATAS CELULARES

(Wolfram, 1986) Define cuatro clases en las que los AC. Mientras que los estudios anteriores en autómatas celulares tienden a tratar de identificar el tipo de patrones de reglas específicas, la clasificación de Wolfram fue el primer intento de clasificación global. En orden de complejidad las clases que identifica son:

Clase I:

Casi todos los patrones iniciales evolucionan rápidamente en un estado estable y homogéneo. Cualquier aleatoriedad en el patrón inicial desaparece.

Clase II:

Casi todos los patrones iniciales evolucionan rápidamente hacia estructuras estables u oscilantes. Parte de la aleatoriedad del patrón



inicial puede permanecer, pero solo algunos restos. Los cambios locales en el patrón inicial tienden a permanecer locales.

Clase III:

Casi todos los patrones iniciales evolucionan de forma pseudo-aleatoria o caótica. Las estructuras estables que aparecen son destruidas rápidamente por el ruido circundante. Los cambios locales en el patrón inicial tienden a propagarse indefinidamente.

Clase IV:

Casi todos los patrones iniciales evolucionan en las estructuras que interactúan de manera compleja e interesante, con la formación de las estructuras locales que son capaces de sobrevivir por largos períodos de tiempo. Podría ser el caso de que apareciesen estructuras estables u oscilantes, pero el número de pasos necesarios para llegar a este estado puede ser muy grande, incluso cuando el patrón inicial es relativamente simple. Los cambios locales en el patrón inicial pueden extenderse indefinidamente. Wolfram ha conjeturado que muchos, si no todos, los AC de esta clase son capaces de realizar computación universal.

2.3.4.3. ELEMENTOS DE LOS AUTÓMATAS CELULARES

(Almeida, 2003) Indica que los modelos de AC se consideran una categoría de modelos dinámicos-espaciales, correspondientes a mecanismos compuestos por conjuntos de celdas que imprimen ciertos movimientos, que se asemejan a seres animados.

I. Células

Una grilla o cuadrícula de enteros. Cada celda de la cuadrícula se conoce como célula y su tamaño individual define el tamaño del autómata y el número de células.

II. Estado

Es finito, y cada elemento o célula del arreglo toma un valor de este conjunto de estados. También se denomina alfabeto. Puede ser expresado en valores o colores.

III. Vecindades

Define el conjunto contiguo de células y posición relativa respecto a cada una de ellas. A cada vecindad diferente corresponde un elemento del conjunto de estados.

Tipos de vecindades

a. Vecindad de Von Neumann:

Se define como el conjunto de las cuatro celdas que rodean ortogonalmente a una celda central en un enrejado cuadrado bidimensional.

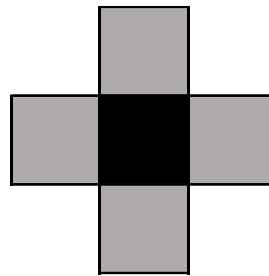


Figura Nº 3: *Vecindad de un Autómata Celular de von Neumann.*

b. Vecindad de Moore:

Se define como el conjunto de las ocho celdas que rodean una celda central en un enrejado cuadrado.

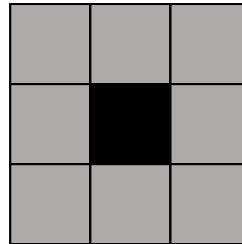


Figura Nº 4: *Vecindad de un Autómata Celular de Moore.*

IV. Reglas de transición

(Conway, 1970) indica que Life representa una especie de "juego ecológico" ya que las células del autómata pueden estar "vivas" o "muertas". Life trabaja sobre una cuadrícula bi-dimensional infinita y los estados de las células están determinados por las siguientes condicionantes:



a. Nacimiento.

Se reemplaza una célula muerta por una viva si dicha célula tiene exactamente 3 vecinos vivos.

b. Sobrevivencia.

Una célula permanece viva si hay dos o tres células vivas en su vecindad, de lo contrario muere.

c. Muerte:

Se reemplaza una célula viva por una muerta si dicha célula no tiene más de 1 vecino vivo (muerte por aislamiento) o si tiene más de 3 vecinos vivos (muerte por sobrepoblación).

Con el modelo del juego de la vida, se mostraron con extrema claridad muchos de los principios básicos de los sistemas complejos, inspirando curiosidad acerca de la dinámica compleja de los patrones espaciales.

2.3.5. PESOS DE EVIDENCIA

(Bonham-Carter, 1994) indica que el enfoque bayesiano al problema de combinar conjuntos de datos utiliza un marco de probabilidad. Uno de los conceptos principales en el enfoque bayesiano es la idea de antes y después probabilidad.

El método de ponderaciones de evidencia se basa en el teorema de probabilidad condicional de Bayes (Bonham-Carter, 1994). Básicamente, este teorema se refiere a la propensión a detectar un determinado evento, que en el presente caso puede ser una categoría dada de cambio de uso no urbano a uso.

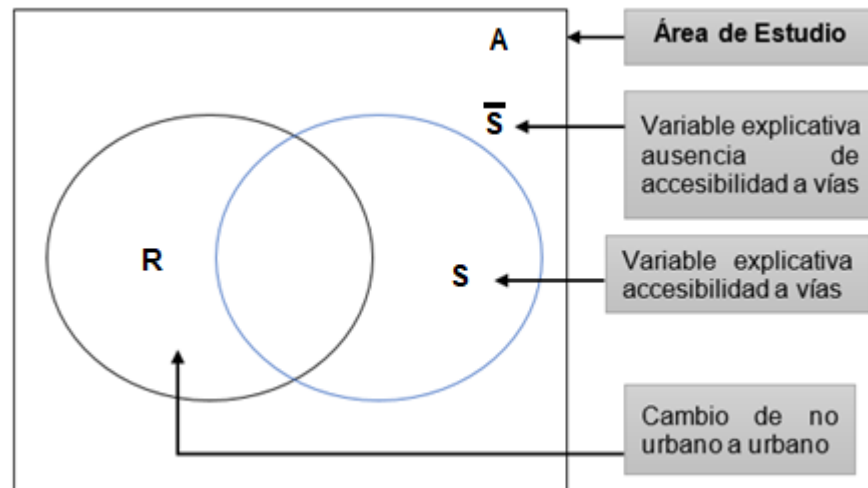


Figura N° 5: Esquema de pesos de evidencia

La tendencia a encontrar el suelo urbano. R en vista de la presencia de evidencia, es decir, del patrón binario S (suelo urbanizable), viene dado por:

$$P\{R/S\} = \frac{P\{R \cap S\}}{P\{S\}} \quad (1)$$

Donde $P\{R/S\}$ es la probabilidad condicional de que ocurra el evento de transición R, dada la presencia de la variable explicativa o evidencia S. Pero $P\{R/S\}$ es igual a proporción del área total ocupada por R y S juntos. Siendo N el recuento de celdas de los mapas (área de un evento o evidencia), la fórmula anterior se puede reescribir así:

$$P\{R/S\} = \frac{N\{R \cap S\}}{N\{S\}} \quad (2)$$

Para obtener una expresión que relacione la probabilidad a posteriori ocurrencia del evento R en términos de probabilidad a priori y un factor de multiplicación, podemos afirmar que la probabilidad condicional de estar en el área de evidencia S, dada la presencia del evento R se define por:

$$P\{S/R\} = \frac{P\{S \cap R\}}{P\{R\}} \quad (3)$$

Como $P\{R/S\}$ es lo mismo que $P\{S/R\}$, Las ecuaciones se pueden combinar para determinar $P\{R/S\}$.

$$P\{R/S\} = \frac{P\{R\} \cdot P\{S/R\}}{P\{S\}} \quad (4)$$

Se puede derivar una expresión similar para la probabilidad a posteriori ocurrencia del evento R dada la ausencia de evidencia \bar{S} . Entonces

$$P\{R/\bar{S}\} = \frac{P\{R\}.P\{\bar{S}/R\}}{P\{\bar{S}\}} \quad (5)$$

Estas ecuaciones presentadas anteriormente se pueden expresar en forma de probabilidades, las probabilidades se definen como la relación entre la probabilidad de que ocurra un evento y la probabilidad de que no ocurra. El método del peso de la evidencia utiliza los logaritmos naturales de probabilidades, conocido por probabilidades de registro o **logits**. Para aclarar este enfoque, Ecuación (5) se convertirá a probabilidades Para hacerlo, solo divide los dos lados de la ecuación por $P\{R/\bar{S}\}$:

$$\frac{P\{R/S\}}{P\{\bar{R}/S\}} = \frac{P\{R\}.P\{S/R\}}{P\{\bar{R}/S\}.P\{S\}} \quad (6)$$

Pero, a partir de las definiciones de probabilidad condicional, tenemos que:

$$P\{\bar{R}/S\} = \frac{P\{\bar{R} \cap S\}}{P\{S\}} = \frac{P\{S/\bar{R}\}P\{\bar{R}\}}{P\{S\}} \quad (7)$$

Sustituyendo la ecuación (7) en la ecuación (6), llegamos a la siguiente fórmula:

$$\frac{P\{R/S\}}{P\{\bar{R}/S\}} = \frac{P\{R\}}{P\{\bar{R}\}} \cdot \frac{P\{S\}}{P\{S\}} \cdot \frac{P\{S/R\}}{P\{S/\bar{R}\}} \quad (8)$$

Reemplazándose a sí mismo probabilidades en la ecuación (8), tenemos que:

$$O\{R/S\} = O\{R\} \cdot \frac{P\{S/R\}}{P\{S/\bar{R}\}} \quad (9)$$

donde $O\{R/S\}$ es el *odds* condicional (a posteriori) de R dado S, $O\{R\}$ es el *odds* a priori de R y $P\{S/R\} / P\{S/\bar{R}\}$ se conoce como índice de suficiencia o coeficiente de suficiencia (LS). En el método del peso de evidencia, se calcula el logaritmo natural de ambos lados de la ecuación (9), y el $\log_e LS$ se llama peso positivo de la evidencia W^+ , que se calcula a partir de los datos. Así:

$$\text{logit}\{R/\bar{S}\} = \text{logit}\{R\} + W^+ \quad (10)$$

2.4. MARCO CONCEPTUAL Y/O DEFINICIONES BÁSICAS

2.4.1. CAMBIO DE USO DE SUELO

(Soares-Filho, 2009) Indica que el cambio del uso y cobertura del suelo (LUCC, por sus siglas en inglés), es el término utilizado para indicar las modificaciones que se realizan sobre la superficie terrestre causadas por la actividad humana y/o las perturbaciones a través del tiempo.

Es el empleo o aprovechamiento cíclico o permanente que el hombre da a los diferentes tipos de cobertura para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales.

2.4.2. MODELO

(Cartwright, 1983) indica que un modelo es la abstracción de un sistema, construyendo únicamente lo que es de interés para la solución del problema por el cual fue creado.

2.4.3. SIMULACIÓN

(Coss, 2005) indica que la simulación es la imitación de un sistema a través del tiempo con el objetivo de predecir y describir comportamientos.

2.4.4. MODELAMIENTO DINÁMICO

(Turpo Cayo, 2018) Menciona que se genera a partir de los datos de entrada, realizando la tabulación cruzada, para obtener las matrices de transición global y anual de los cambios en la cobertura de la tierra en los períodos analizados y que se ingresan en la etapa de simulación del escenario. En este paso, los pesos de la evidencia (método bayesiano) también se calculan a partir del análisis de la asociación espacial (o dependencia espacial) entre las variables seleccionadas, que se utilizan para obtener las probabilidades de transición para la fase de calibración y simulación del modelo.

(Soares-Filho, 2009) Indica que el desarrollo de modelos espacio – temporales, en los que el estado o atributo de una cierta ubicación geográfica, o celda, cambia a través del tiempo como respuesta a una serie

de causas o diversas, es un requisito de extrema importancia para el modelamiento ambiental y, por lo tanto, ofrece una gama de posibilidades para la representación de fenómenos dinámicos.

2.4.5. MATRIZ DE TRANSICIÓN

(Soares-Filho, 2009) Indica que la matriz de transición es parte de la metodología empleada para identificar los procesos de cambio del suelo urbano, las cuales se obtienen al superponer mapas de 2 fechas distintas para analizar los datos resultantes de manera eficiente, la matriz nos muestra de tal forma que las categorías de la fecha inicial se acomodan en filas y las categorías de la fecha final en columnas, con lo cual obtenemos solo la diagonal de la matriz nos muestra la cantidad total de transición entre la fecha inicial y final y el resto corresponde a todas las combinaciones posibles que se dan al intercambiar los datos de fechas.

(Soares-Filho, 2009) indica que la suma de fracciones a lo largo de las columnas de la matriz de transición es igual a 1. La línea diagonal de la matriz de transición no necesita ser especificada, ya que Dinámica EGO no modela el porcentaje de celdas que no cambian, y tampoco aquellas transiciones iguales a cero.

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \cdot \\ j \end{bmatrix}_{t=v} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1\cdot} & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & P_{2\cdot} & P_{2j} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{3j} \\ P_{j1} & P_{j2} & P_{j\cdot} & P_{jj} \end{bmatrix}^v * \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \cdot \\ j \end{bmatrix}_{t=0}$$

La matriz de transición se calcula durante un período de tiempo. En el software Dinámica EGO también se puede descomponer en varios pasos. Es necesario, para este propósito, derivar la matriz de transición de tiempo múltiple, ya que esto es equivalente al número de pasos de tiempo en los que se divide el período de tiempo.

$$MT_{anual} = H \cdot V^{\frac{1}{n}} \cdot H^{-1}$$

Donde MT_{anual} es la matriz de transición anual de la cubierta terrestre, H son los vectores propios de la matriz de transición global; V son los valores propios de la matriz de transición global; n es el número de pasos anuales dentro del período total analizado; H^{-1} es la matriz inversa de vectores propios de la matriz de transición global.

2.4.6. PENDIENTES

(MINAG, 2002) Indica que se refiere a la inclinación que presenta la superficie del suelo con respecto a la horizontal; está expresada en porcentaje, es decir la diferencia de altura en 100 metros horizontales. Para los fines del presente estudio, se ha determinado ocho rangos de pendiente, los cuales se indican en el cuadro siguiente:

Tabla N° 1: Clasificación de Fases por Pendiente

Término Descriptivo	Rango (%)	Símbolo
Plana o Casi a Nivel	0 – 2	A
Ligeramente inclinada	2 - 4	B
Moderadamente inclinada	4 – 8	C
Fuertemente inclinada	8 - 15	D
Moderadamente empinada	15 – 25	E
Empinada	25 – 50	F
Muy empinada	50 – 75	G
Extremadamente empinada	> 75	H

Fuente: Reglamento de Clasificación de Tierras MINAG.

(GRP, 2015) Menciona que la pendiente referida a la inclinación de un elemento ideal, natural o constructivo respecto de la horizontal. La inclinación del terreno constituye un factor esencial para el desarrollo de actividades urbano industriales, ya que controla o interviene en la sensibilidad ambiental a los efectos producidos por los otros factores. La pendiente se relaciona con la morfología y dinámica de todas las formas del relieve; prácticamente todas ellas tienen un umbral límite que las clasifica o jerarquiza de acuerdo a su geometría; es decir, la pendiente constituye un factor que favorece la delimitación de los procesos y los tipos de formas que se encuentran en el terreno. En la ciudad de Puno se encuentra pendientes desde áreas planas hasta extremadamente empinados mayores a 75%.

2.4.7. LITOLOGÍA

(GRP, 2015) Describe que la parte de la geología que trata de las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas. Entendemos por roca una masa de materia mineral coherente, consolidada y compacta. Se puede clasificar por su edad, su dureza o su génesis (ígneas, sedimentarias y metamórficas). Cuando existen rocas masivas de un solo tipo, o con una estructura similar, la naturaleza de las rocas puede condicionar el relieve. Los tipos de relieve por causas litológicas más significativas son: el relieve cárstico, el relieve sobre rocas metamórficas y el relieve volcánico.

Tabla N° 2: Unidades Litoestratigráficas

Numero	Símbolo litológico	Descripción litológica
1	Lago	Acumulación de agua en cuenca endorreica
2	Ki – hn	Huancané, Areniscas cuarzosas de grano fino a medio con estratificación sesgada y paralela.
3	Kis - ay	Familia Ayabacas, compuesto de calizas grises bien plegadas y caóticas.
4	N – a	Andesitas
5	N – mz	Formación Maure
6	NQ – um	Lavas andesitas porfiriticas y brechas.
7	P – pu	Grupo Puno, compuesto por conglomerados, areniscas con intercalaciones de lutitas rojas.
8	PN – ta	Grupo Tacaza, flujos de lavandesiticas y perforiticas.
9	PN – ta-s	Tacaza sedimentario, compuesto por conglomerados, areniscas con intercalaciones de lutitas rojas.
10	Q- a	Aluvial, depósitos de gravas, arenas y limos la matriz de estos materiales es arenosos.
11	Q -pu	Gravas conglomerados rojos polimícticos con clastos

Fuente: INGEMET

2.4.8. ACCESIBILIDAD A SERVICIOS BÁSICOS

(Obregón & Ángeles, 2018) Menciona que la accesibilidad es una parte integral en la planificación del transporte, el cual impacta en nuestra calidad de vida.

(CARPIO & LAMÍQUIZ, 2014) Indica que el concepto de “accesibilidad” ha sido una herramienta enfocada a la práctica en campos como la planificación del transporte y, sin embargo, su aplicación para la ordenación urbanística y en el caso particular del comercio de proximidad, apenas está despegando.

2.4.9. LOG ODDS Y LA FUNCIÓN LOGIT

(Jaccard, 2001) Indica que cada probabilidad se ha asociado dentro de una probabilidad que también se puede convertir en probabilidades de registro para análisis en regresión logística, considere las siguientes probabilidades y sus probabilidades asistidas y las probabilidades de registro.

Las probabilidades van de 0 a 1, las posibilidades (odds) van de 0 a infinito, y las probabilidades de registro (log odds) van de menos infinito a más infinito.

Las probabilidades de menos de 0,50 están asociadas con probabilidades que son menores de 1,0 y las probabilidades de registro que son negativas. Las probabilidades que son mayores que 0.50 están asociadas con probabilidades que son mayores que 1.0 y las probabilidades de registro que son positivas.

El hecho de que las probabilidades de registro no estén limitadas por 1 o 0 (como es el caso de las probabilidades o probabilidades) es una característica que hace que las probabilidades de registro sean más susceptibles a una teoría estadística subyacente satisfactoria en la regresión logística.

La ecuación de las probabilidades de registro es:

$$\ln(p/(1 - p))$$

p = la probabilidad de que ocurra un evento

1 - p = la probabilidad de que un evento no ocurra

Cuando la variable de una función representa una probabilidad, p (como en la función anterior), se llama *función logit*.

2.4.10. CORRELACIÓN DE PESOS DE EVIDENCIA

(Bonham-Carter, 1994) Indica que un conjunto de medidas puede ser aplicadas para determinar la validez de este supuesto, tales como el test de Cramer y el test de Información de Incertidumbre Conjunta (o Joint-Uncertainty). Como resultado, las variables correlacionados deben ser eliminadas o combinadas en una nueva, para incluirlas en el modelo.

A medida que las áreas observadas se vuelven cada vez más diferentes de las áreas esperadas, chi-cuadrado aumenta en magnitud y tiene un límite superior variable. Dos coeficientes comúnmente citados de asociación basada en valores de chi-cuadrado son el coeficiente de Cramers, V y la contingencia coeficiente C , el primero se define como

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{T..M}}$$

V = Es el coeficiente de cramer

X^2 = chi – cuadrado

T = Es la tabulación cruzada

M = Es el mínimo de $(n - 1, m - 1)$

$$C = \sqrt{\frac{X^2}{T..+X^2}}$$

(Bonham-Carter, 1994) Informa que los valores inferiores a 0,5 tanto para el índice de Cramer como para la incertidumbre conjunta. Los sistemas de información sugieren menos asociación que más.

- < 0.5 es menor asociación
- > 0.5 es mayor asociación

2.4.11. VALIDACIÓN DE LA SIMULACIÓN

(Soares-Filho, 2009) Indica que los modelos espaciales requieren de una comparación dentro de un contexto de vecindad, porque incluso los mapas que no concuerdan exactamente entre celda y celda, podrían presentar patrones espaciales similares e igualmente, similitud espacial

dentro de una cierta vecindad de celdas. Para tomar en cuenta este aspecto se han desarrollado varios métodos de comparación basados en el concepto de vecindad.

2.4.12. SIMILARIDAD DE FUZZY

(Hagen, 2003) Indica que los valores de similitud oscilarán entre 0 y 1. El promedio de todas las celdas se puede usar como una medida de similitud general de los dos mapas y también se encuentra entre 0 y 1. El método de comparación produce resultados que son más graduales que los de otros métodos (estadística kappa o comparación celda por celda); por lo tanto, es más probable que proporcione una indicación adecuada de pequeñas diferencias.

La siguiente ecuación calcula las similitudes si los Vectores de vecindad difusa de las dos celdas centrales que se encuentran. La configuración de membresía y las anotaciones son las que se usaron antes:

$$S(V_{nbh,A}, V_{nbh,B}) = [|1,0.5|_{Min}, |0.2,1|_{Min}, \dots, |0.5,0.5|_{Min}]_{Max} = 0.5$$

El valor de similitud varía de 0 a 1. $S(V_A, V_B)$ será igual a 0 para dos vecindarios completamente diferentes y 1 para vecindarios con celdas centrales coincidentes. El valor de 0,5 resultante de la operación debe interpretarse como "**considerablemente similar**". Sin embargo, se observa que este valor de similitud se debe al hecho de que ambas celdas centrales son vecinas de una celda gris. Por lo tanto, la similitud calculada se basa en los vecinos más que en las celdas mismas.

Sin considerar la confusión de la categoría, el vector de vecindad borroso puede representar la confusión de la ubicación. Primero, se asocia un vector nítido a cada celda del mapa. Este vector tiene tantas posiciones como categorías de mapas, suponiendo 1 para una categoría = i y 0 para categorías distintas de i . Por lo tanto, el vector de vecindad difusa (V_{nbhood}) para cada celda se determina de la siguiente manera:

Donde μ_{nbhood} representa la membresía para la categoría i dentro de una vecindad de N células (generalmente $N = n^2$); μ_{crisp}^{ij} es la membresía de la categoría i para la celda vecina j , suponiendo, como en un vector nítido, 1 para i y 0 para categorías distintas de i (\cdot) y m_j es la

membresía basada en la distancia de la celda vecina j . m representa una función de disminución de la distancia, por ejemplo, una disminución exponencial ($m = 2^{-d/A}$ donde d es la distancia y A es la atenuación de la distancia). Aunque espacialmente continua, para facilitar el cálculo, esta función de decaimiento se trunca con mayor frecuencia fuera de la ventana de vecindad $n \times n$. Qué función es más apropiada y el tamaño de la ventana depende de la imprecisión de los datos y la tolerancia permitida para el error espacial.

(Soares-Filho, 2009) Recomienda elegir siempre el valor de similitud menor ya que al comparar mapas aleatorios en sólo una dirección, éstos tienden a producir un ajuste alto, porque dispersan los cambios a través de todo el mapa. Esta prueba emplea una función exponencial de decaimiento la cual es truncada fuera de una ventana de 11×11 celdas.

(Turpo Cayo, 2018) Indica que después de la ventana 5×5 ($ISF > 0.7$) el modelo tiene un buen desarrollo para generar escenarios de dinámica de uso de cobertura.

2.4.13. PARÁMETROS INTERNOS DE DINÁMICA

(Soares-Filho, 2009) Indica que Dinámica EGO usa como regla Autómata Celular local, una herramienta de transición compuesta por dos funciones de transición complementarias, el Expander y el Patcher, especialmente diseñados para reproducir los patrones espaciales de cambio (Ambos están en la pestaña Simulation). El primer proceso está dedicado sólo a la expansión o reducción de parches de una clase ya existentes, mientras que el segundo proceso está diseñado para generar o formar nuevos parches a través de un mecanismo “semilla”. El Patcher busca las celdas alrededor de una ubicación elegida para ejecutar un cambio a la misma clase. Esto se logra, primero, al elegir la celda núcleo del nuevo parche, y luego, al seleccionar un número específico de celdas alrededor de este núcleo, en función de su probabilidad Pide transición.

Al variar los parámetros, estas funciones permiten la formación de parches con distintos tamaños y formas. El Patch Isometry varía de 0 a 2. Los parches asumen una forma más isométrica (circular) cuanto mayor es este número. Los tamaños de los nuevos parches son determinados de



acuerdo a una probabilidad de distribución log-normal. Por lo tanto, es necesario indicar los parámetros de esta función, representados por la media y varianza del tamaño de los parches a ser formados.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

En el proceso de modelado se requiere básicamente es que todos los mapas de entrada, vías de acceso y uso del suelo, variables estáticas o dinámicas, se debe considerar en la misma resolución espacial y la misma área de trabajo, lo que da como resultado una matriz con el mismo valor de filas y columnas. Por lo tanto, la resolución espacial utilizada fue de 12.5 x 12.5 m. Para la investigación se utilizaron los siguientes datos:

- Resolución DEM (12.5m x 12.5m), obtenida en el entorno de EAR DATA NASA <https://vertex.daac.asf.alaska.edu>
- Mapa geológico (Litoestratigrafía) en la escala 1/50,000 de INGEMMET, (2017).
- Imágenes de satélite de Google earth
- Carta topográfica del año 1974 fuente Ministerio de Agricultura

Para llevar a cabo este estudio, los softwares utilizados fueron los siguientes:

- ArcGis 10.6 (versión de prueba)
- TERRSET (Versión de prueba)
- ER Mapper, versión 7.1
- DINAMICA EGO, versión 4.0.4.0

3.2. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

a) Ubicación Política

- Región : Puno
- Provincia: Puno
- Distrito : Puno

b) Ubicación Geográfica

La zona de estudio se ubica al sur este de la región Puno, en el sistema de coordenadas UTM WGS-84 zona 19 sur, las coordenadas del cuadrante del área de trabajo son:

- Este : 384800
- Norte : 8240000
- Este : 401800
- Norte : 8258000



3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

Población

Distrito de Puno.

Muestra

Área urbana de la ciudad de Puno.

3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

a) TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según el enfoque de investigación es cuantitativa por que se busca comprobar la hipótesis en base a la recolección y análisis de datos numéricos, por el propósito o finalidad perseguida es aplicada porque tiene por objetivo resolver un problema o planteamiento enfocándose en la búsqueda y consolidación de conocimiento y por ende el enriquecimiento para el desarrollo cultural y científico.

b) NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo al nivel de investigación y/o profundidad es de tipo correlacional por que persigue medir dos o más variables con los cuales realizar predicciones.

c) DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación que se utilizara es no experimental porque se recolectara la información de las imágenes satelitales Landsat que se ha venido registrando desde el año 1974 y luego será procesado a partir de la cual se determinara e interpretara el área del crecimiento urbano, sin inducir o manipular estas variables.

3.5. METODOLOGÍA DEL MODELAMIENTO

Esta investigación se realizó en base al siguiente esquema propuesto que se divide en tres partes principales los cuales son datos de entrada, modelamiento dinámico y pronóstico.

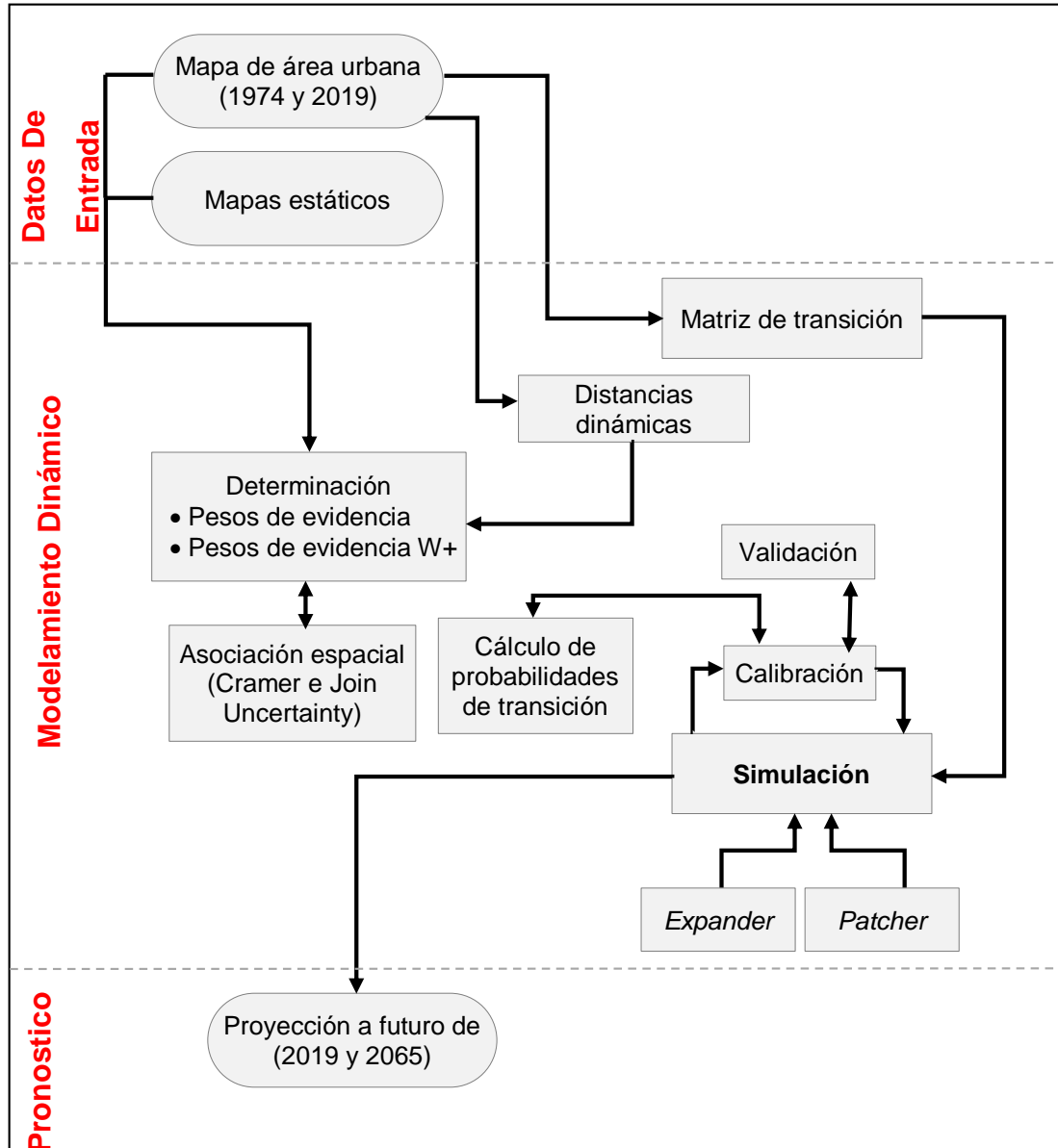


Figura Nº 6: Esquema de proceso de simulación

Fuente: Adaptación (Almeida, 2003) & (Turpo Cayo, 2018)

Variables



3.5.1. DATOS DE ENTRADA

a) VARIABLES DINÁMICAS

- **Recopilación de insumos**

En esta etapa se realiza la revisión de la información y la identificación de cartografía e imágenes satelitales que contribuyeron a definir y establecer los límites del área de estudio.

El insumo de entrada para la generación del modelo predictivo lo comprenden las capas de información mapas de área urbana para dos épocas distintas del año 1974 y 2019 de la zona de interés, el mapa urbano está comprendido de tres elementos el área urbana, lago y el área no urbana, mapa de pendientes, mapa de servicios básicos, mapa de vías principales, dichos archivos son elaborados usando los mismos criterios y parámetros de trabajo, y el mismo sistema de clasificación. Se usaron técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica a partir de imágenes satelitales se obtiene la información de dicha área urbana.

- **Vectorización de mapa de área urbana de los años 1974 y 2019.**

Refiere a la creación de un shapefile de tipo polígono para área urbana, servicios básicos y el lago.

El área urbana de los años 1974 y 2019 y el lago fue unido en el cuadrante del área de trabajo asignándoles un código de identificación al área urbana, área no urbana y el lago.

b) VARIABLES ESTÁTICAS

- **Coste en pendiente**

Los costes se han calculado como el tiempo, en minutos, que tardamos en recorrer la unidad de superficie, que en nuestro caso es el metro. Los costes se han multiplicado por 10,000 para evitar decimales ya que dan problemas en las operaciones, al final del análisis habrá que dividir entre 10,000. A continuación, se muestra este cálculo:

Para pendientes 0 – 2% → 20 Km/h con un vehículo a motor

$$\text{Coste} = \frac{\text{Tiempo}}{\text{Und. dist}} = \frac{1\text{ hora}}{20\text{ km/h}} = \frac{60\text{ min}}{20,000\text{ m}} = 0.003 \frac{\text{min}}{\text{m}} = 30 \frac{\text{min}}{10 \text{ km}}$$

- **Coste en accesibilidad**

Se calculó el tiempo que se gasta desde cualquier punto del mapa hasta un servicio básico que representa en la ciudad, utilizando una velocidad específica de vehículo. El tiempo que se gasta para llegar a dicho punto deseado puede denominarse, en términos generales, como la accesibilidad de ese sitio.

La accesibilidad se calculó en una superficie de fricción el cual consta de una cuadrícula bidimensional corriente, donde cada celda de la cuadrícula representa ya sea una forma de transporte, como carreteras, líneas férreas, trochas.

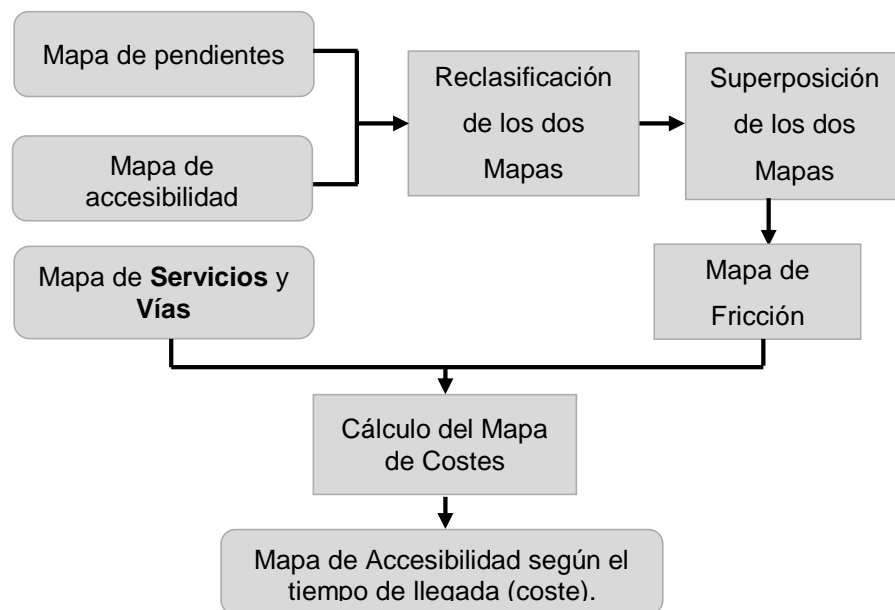


Figura N° 7: Esquema de accesibilidad

Para el cálculo del sub modelo auxiliar de accesibilidad a vías principales de entrada a la ciudad se ha tomado en cuenta las vías de conexión provincial a partir de estos servicios de donde se medirá la accesibilidad.

Las vías de acceso se han analizado con el método de coste distancia el cual consistió en determinar la velocidad media en la cual recorren los vehículos por el tipo de vía y el cálculo del coste.

El cálculo del coste para vías principales, se realiza de igual forma como se hizo en coste de pendientes.

Para vías → 40K m/h con un vehículo a motor

$$\text{Coste} = \frac{\text{Tiempo}}{\text{Und. dist}} = \frac{1 \text{ hora}}{40 \text{ km/h}} = \frac{60 \text{ min}}{40,000 \text{ m}} = 0.0015 \frac{\text{min}}{\text{m}} = 15 \frac{\text{min}}{10 \text{ km}}$$

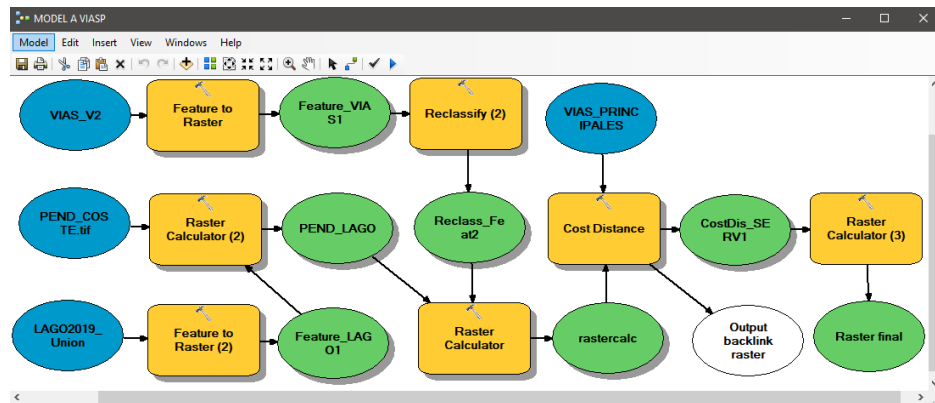


Figura Nº 8: Flujo SIG de proceso del sub modelo auxiliar de Accesibilidad a Vías Principales

Para el cálculo del sub modelo auxiliar de accesibilidad a servicios Básicos, se ha escogido los servicios más importantes en la ciudad, y están en puntos estratégicos como los colegios nacionales, los institutos, la universidad, mercados, plazas, estadios a partir de estos servicios de donde se medirá la accesibilidad. Con la ayuda de la función “Con” del algebra de ArcGIS se tiene lo anteriormente mostrado.

Con el mapa de fricción y con el shapefile de Áreas Urbanas hacemos el mapa de costes, o accesibilidad, luego este resultado hay que dividirlo entre 10,000 para obtener el tiempo de accesibilidad en minutos.

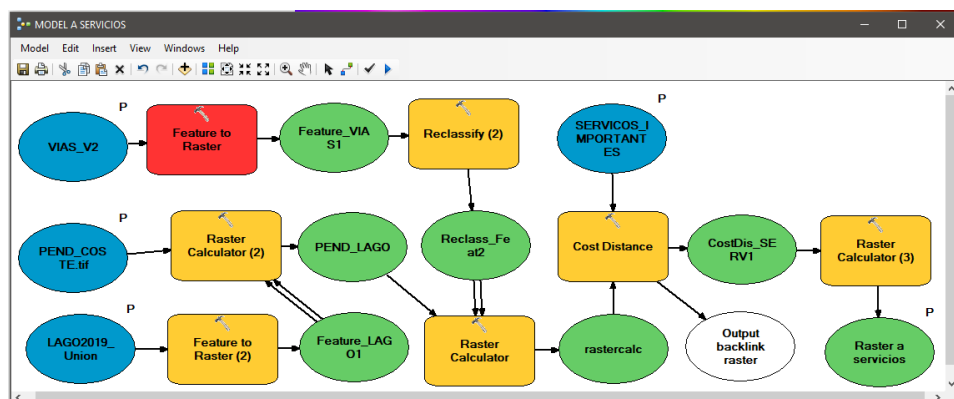


Figura Nº 9: Flujo SIG de proceso del sub modelo auxiliar de Accesibilidad a Servicios importantes

3.5.2. MODELAMIENTO DINAMICO

Para la etapa de calibración el modelo ha ejecutado de manera iterativa 45 veces que representa el tiempo transcurrido en años entre el mapa de uso inicial (1974) y uso final (2019), en cada iteración se ha calculado la probabilidad de transición.

- **Matriz de transición**

Se ha elegido mapas de área urbana del año 1974 como fecha inicial y del año 2019 como la fecha final, de esta manera encontramos un escenario de tasas de cambio en 45 años.

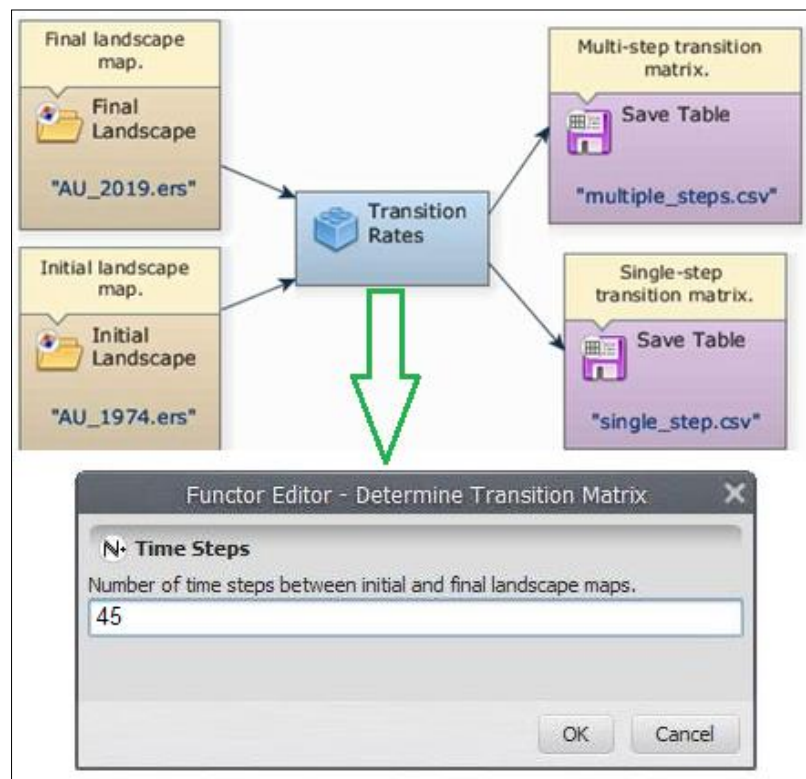


Figura Nº 10: Datos de entrada para la generación de Matriz de transición

- **Cálculo de pesos**

En el entorno de cálculo de pesos se trabajó con el modelo de cálculo de pesos (determine weight), se usó el mismo grupo de datos que utilizamos en el paso anterior, más el archivo generado "skeleton", no se necesitó definir ningún parámetro. En este caso se obtuvo los rangos de valoración a cada una de las variables

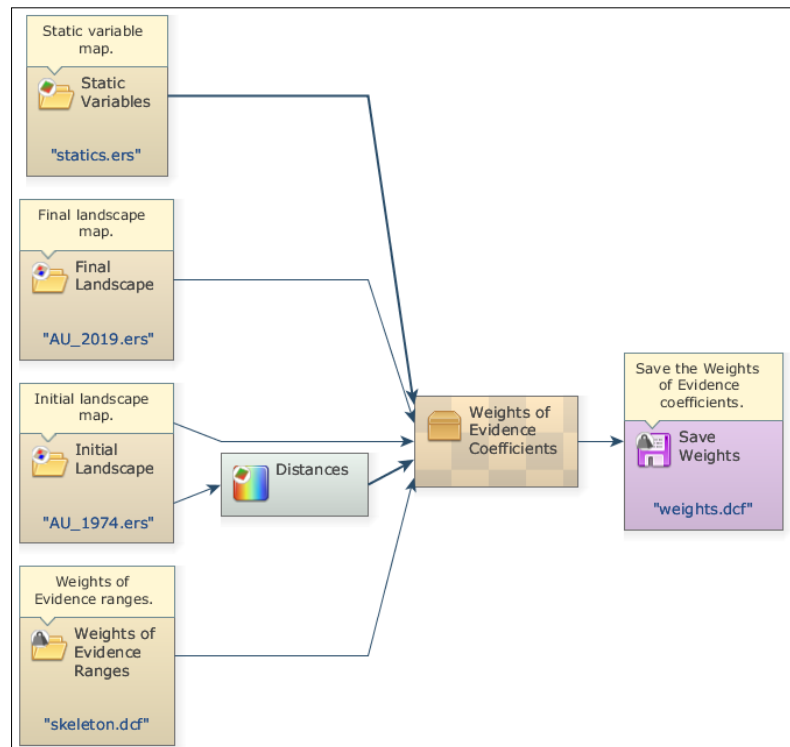


Figura N° 11: Entorno de cálculo de pesos

- **Validación de la simulación**

Como insumos, el modelo recibe el mapa inicial área urbana 1974 (AU_1974), el mapa final observado área urbana 2019 (AU_2019), y el mapa final simulado al año 2019.

El AU_1974 y AU_2019 representan los cambios observados en el mapa, mientras el AU_1974 y el mapa final simulado al año 2019, a partir de la inicial representa cambios simulados.

En las pestañas de cambios observados y cambios simulados se observó que se ingresa la ecuación:

$$if (i1 = i2) then null else i2$$

En la pestaña similarities (Mapa de similitud recíproca de cálculo), es para seleccionar el decaimiento exponencial y el decaimiento constante ambos se ejecutaron en diferentes salidas.

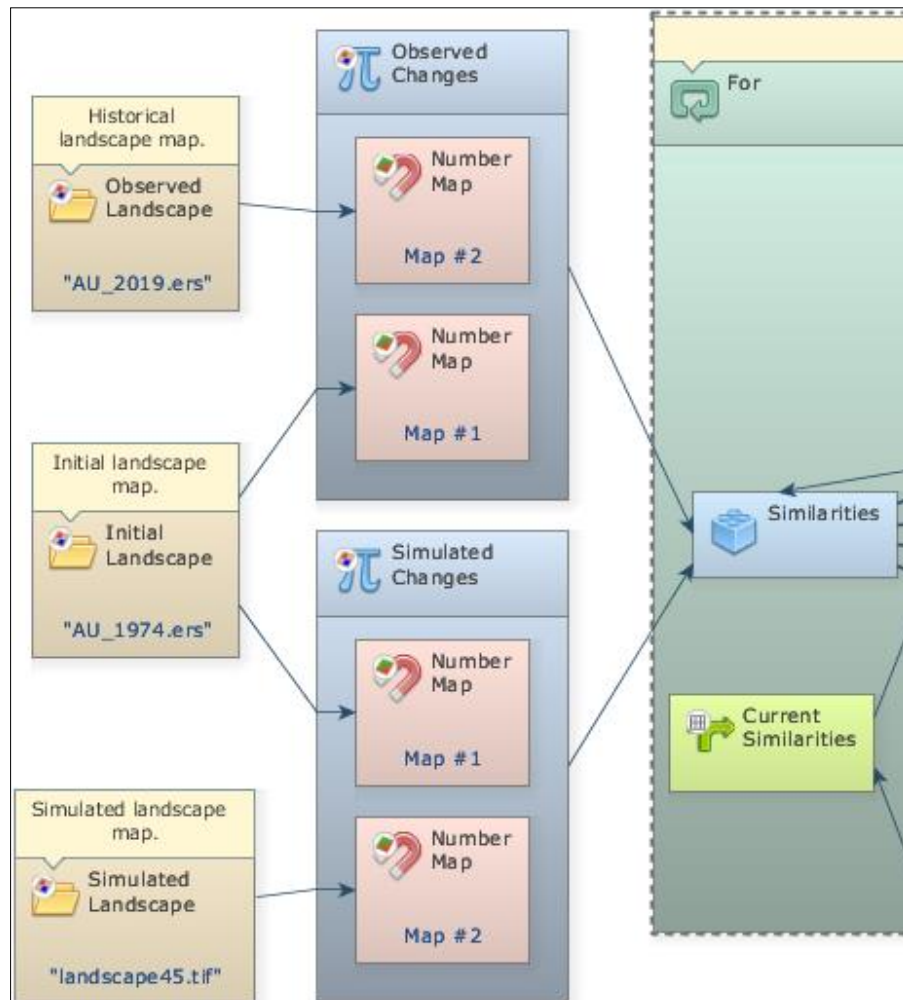


Figura N° 12: Entorno de Validación del Modelo

3.5.3. PRONOSTICO AL AÑO 2065

Para el pronóstico al año 2065, se ha considerado como mapa inicial de área urbana del año 2019 observado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. INFORMACION BASICA

a) UNIDAD MÍNIMA DE MAPEO

Se definió en base a la resolución del DEM que fueron obtenidas para el estudio, la resolución espacial es de 12.5m.

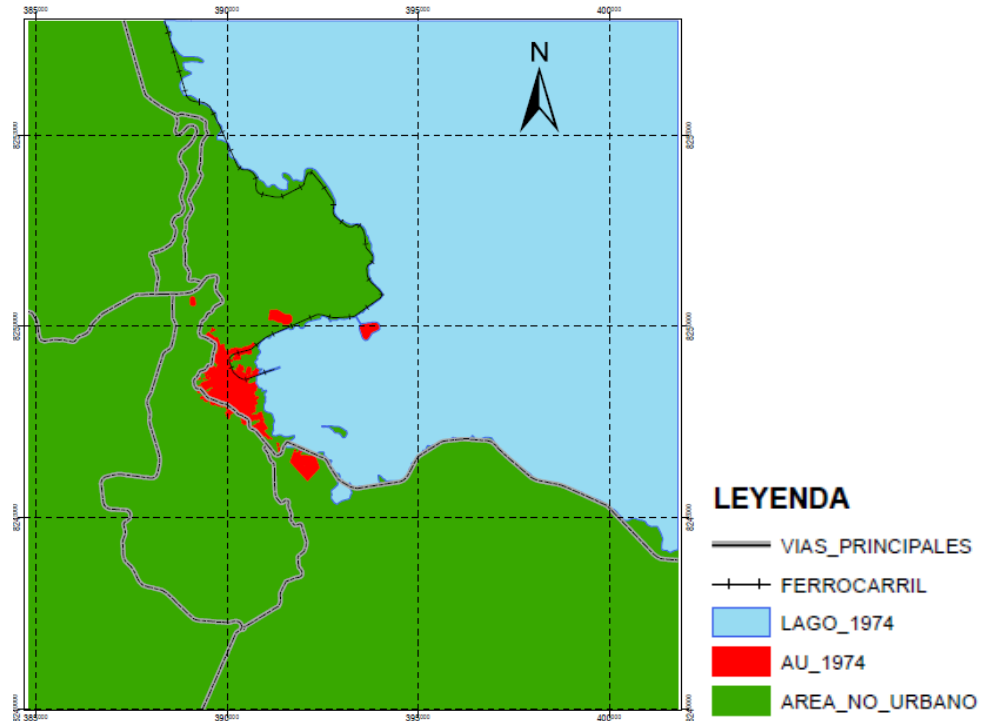


Figura N° 13: Mapa de área urbana 1974

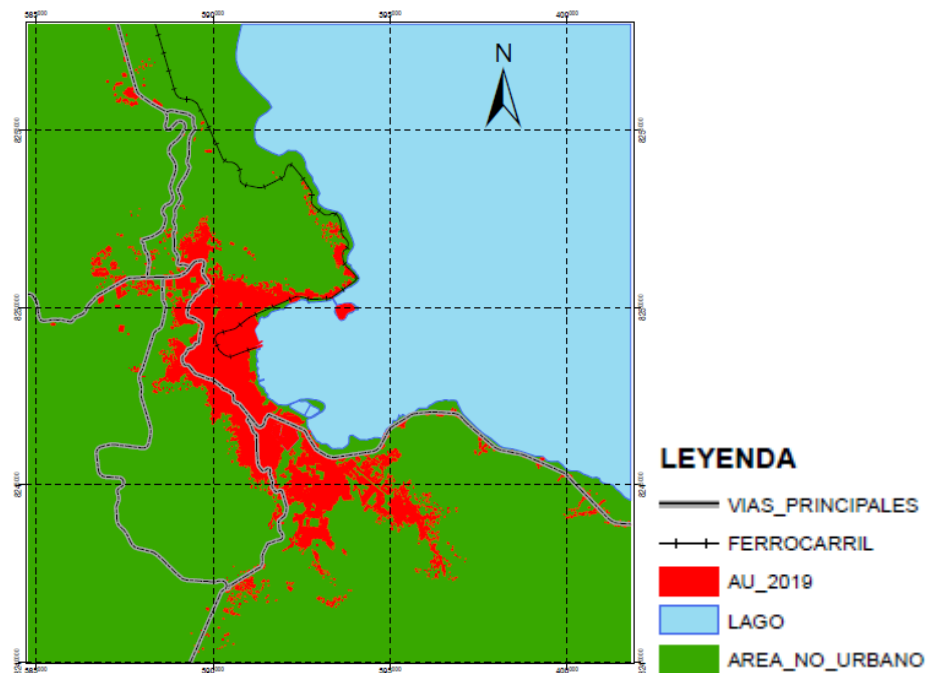


Figura N° 14: Mapa de área urbana 2019.

Tabla Nº 3: Código de Identificación

Número	Código	Descripción
1	AU	Área Urbana
2	A-nU	Área no Urbana
3	LAG	Lago

El mapa de litoestratigrafía identificado cada uno con sus atributos correspondientes, fue unido con el área de trabajo. La litoestratigrafía se ha trabajado a nivel macro debido a que la información que podemos encontrar en la página de INGEMET están realizadas a nivel de cartas de 1:50,000 siendo la única fuente de recurso en donde se pudo encontrar información de la litología correspondiente a la ciudad de Puno.

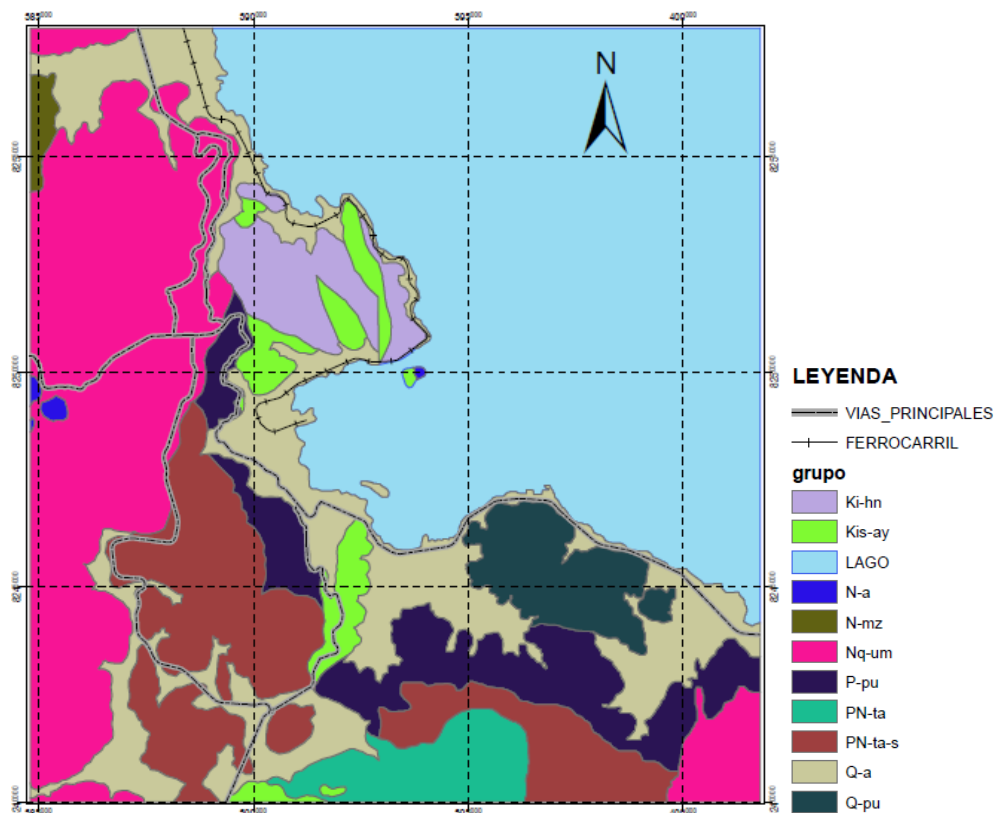


Figura Nº 15: Mapa de litoestratigrafía

La vectorización de vías de acceso se realizó en tipo polilínea, de la misma forma dentro de la cuadrícula del área de trabajo.

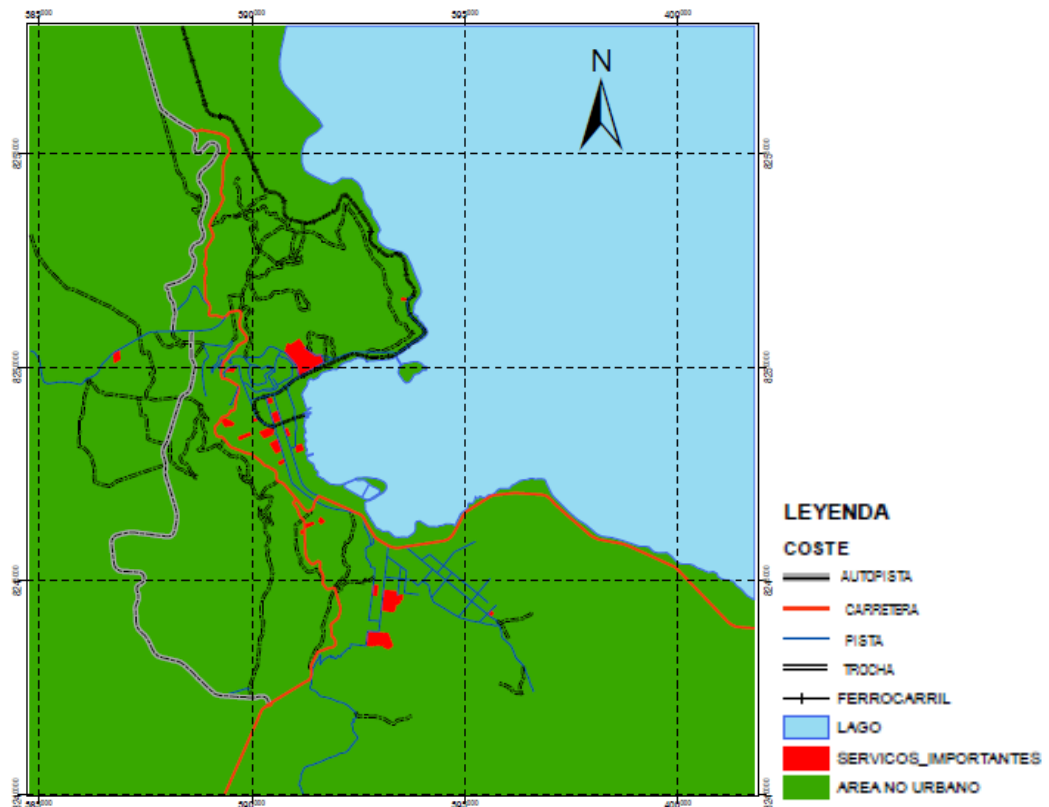


Figura Nº 16: Mapa de vías de acceso

4.1.2. RASTERIZACIÓN DIRECTA DE LAS VARIABLES

Estarán representadas según la evolución del tiempo en sistemas dinámicos y estáticos.

a) DINÁMICOS:

El área urbana representa al sistema dinámico, en la cual se ha rasterizado del vector unido, seleccionando el código de identificación y trabajando a una resolución espacial de 12.5m.

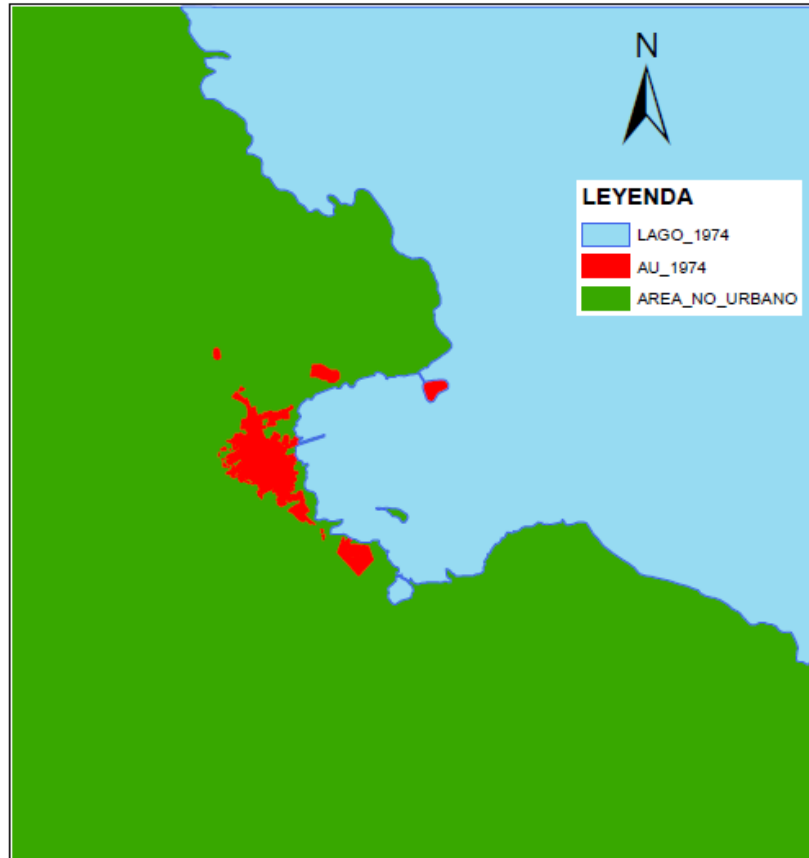


Figura N° 17: Ráster del área urbana 1974

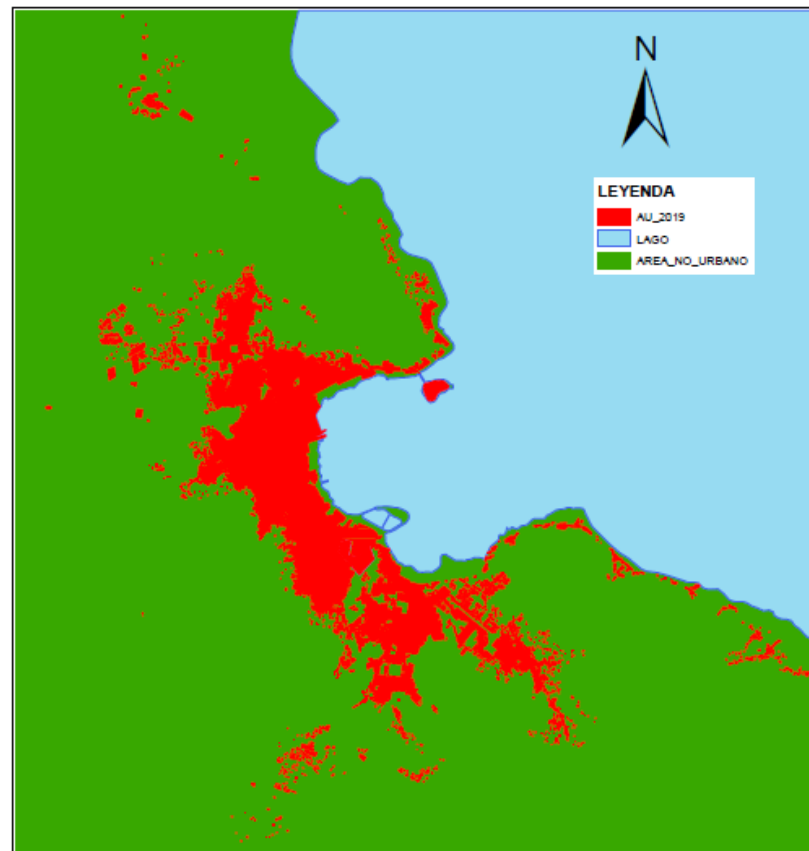


Figura N° 18: Ráster del área urbana 2019

b) ESTÁTICOS:

El DEM ráster se ha obtenido en el entorno de EAR DATA NASA el cual se ha cortado con el área de trabajo para obtener el mapa de altitudes y el mapa de pendientes.

- **Coste en Pendiente**

Tabla Nº 4: Coste en pendientes

Rango de Pendientes	Descripción de la pendiente	VELOCIDAD (Km/h)	Coste
0 - 2	Plano	20	30.00
2 - 4	Ligeramente inclinado	18	33.33
4 - 8	Moderadamente inclinado	15	40.00
8 - 15	Fuertemente inclinado	10	60.00
15 - 25	Moderadamente empinado	8	75.00
25 - 50	Empinado	2	300.00
50 - 75	Muy empinado	1	600.00
>75	Extremadamente empinado	0.5	1200.00

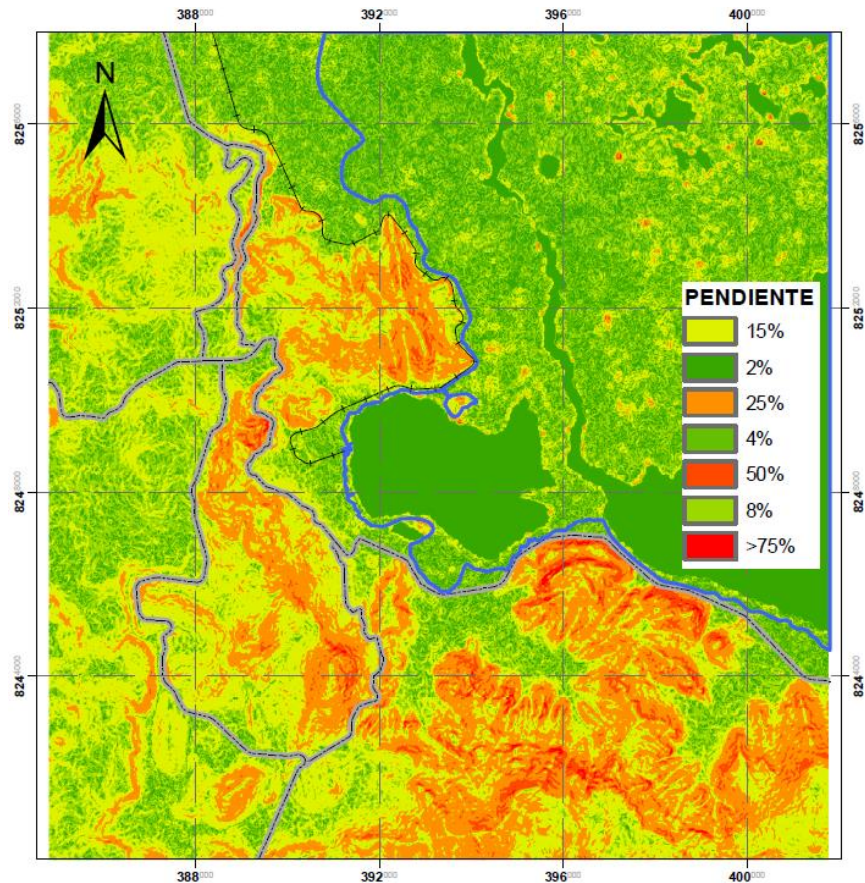


Figura Nº 19: Ráster mapa de pendiente en función al coste.

- **Litología**

El mapa de litología se ha obtenido a través de la plataforma INGEMET que están a una escala 1/50,000.

Tabla Nº 5: Unidades Litoestratigráficas

Numero	Símbolo litológico
1	Lago
2	Ki - hn
3	Kis - ay
4	N - a
5	N - mz
6	NQ - um
7	P - pu
8	PN - ta
9	PN - ta-s
10	Q- a
11	Q -pu

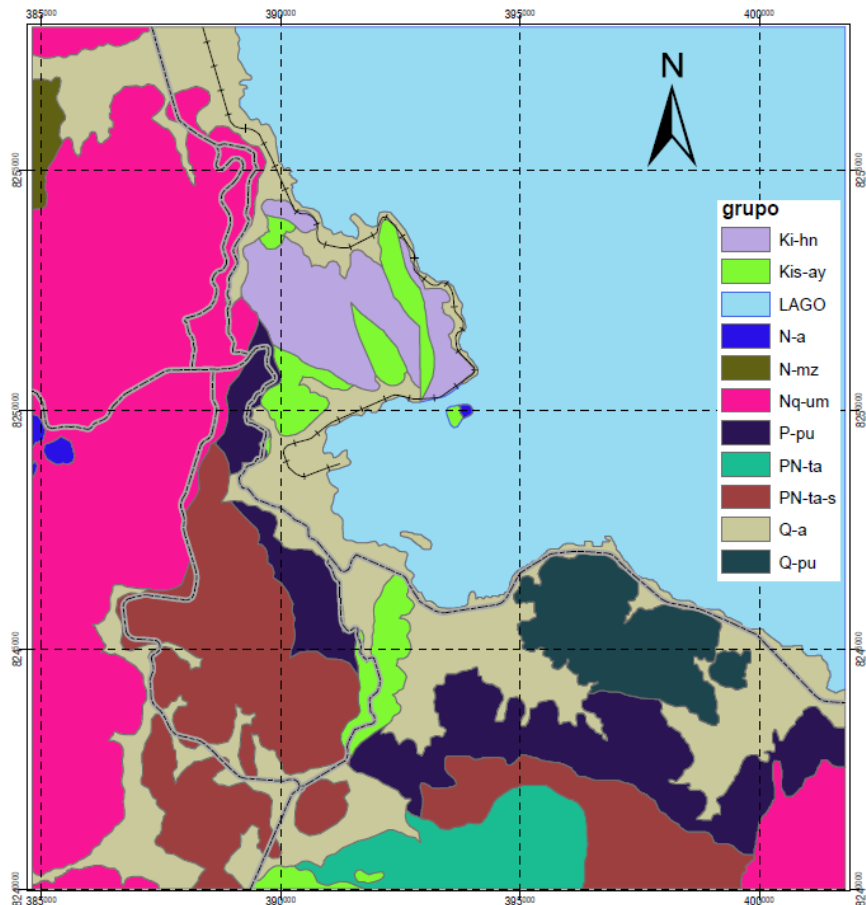


Figura Nº 20: Ráster mapa de litoestratigrafía.

- **Coste en accesibilidad**

Tabla Nº 6: Vías de acceso según coste.

CODIGO	VELOCIDAD (Km/h)	Coste (min/10km)
1	100	6.00
2	80	7.50
3	40	15.00
4	20	30.00

Se reclasifico este mapa de costes en rangos de tiempo de 0 a 89 minutos el más alejado.

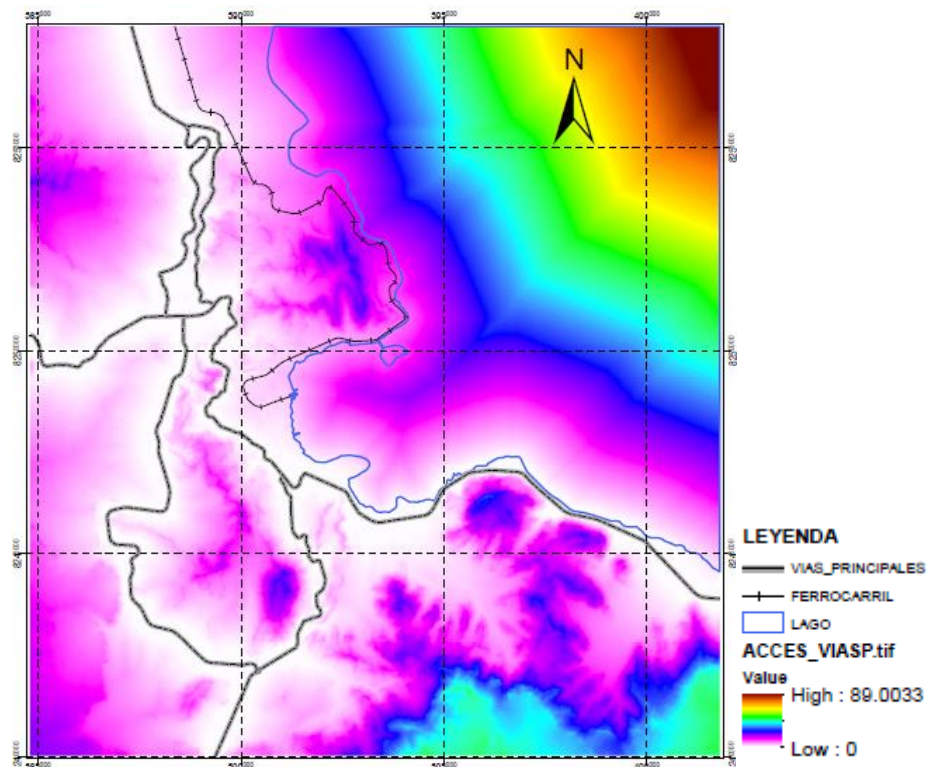


Figura Nº 21: Ráster de accesibilidad a Vías principales

Se reclasifico este mapa de costes en rangos de tiempo de 0 a 79 minutos el más alejado.

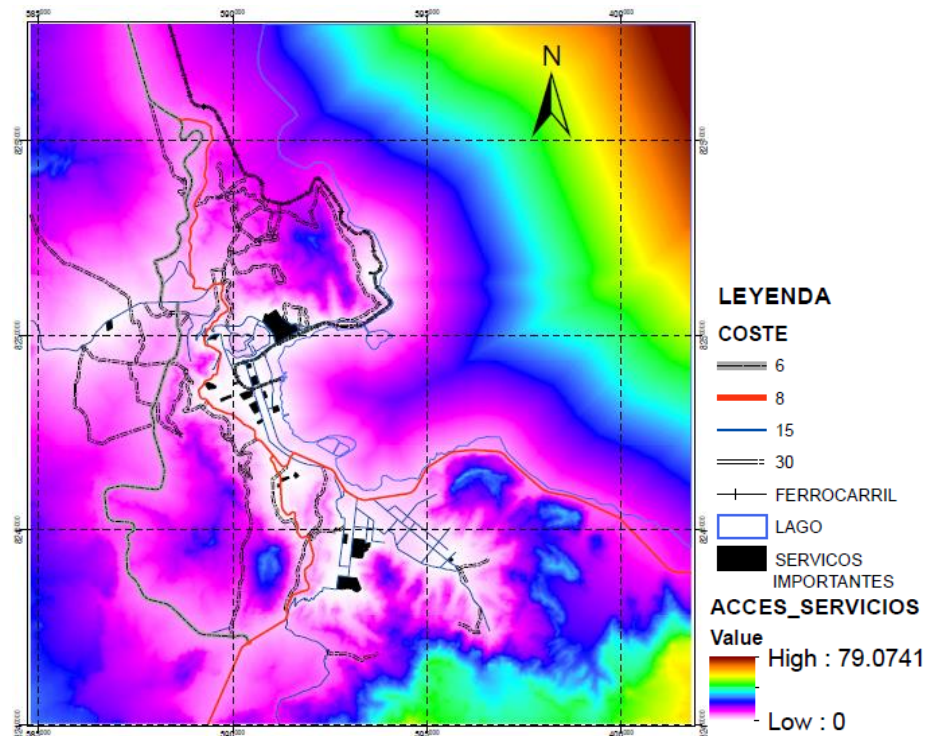


Figura Nº 22: Ráster de accesibilidad a Servicios importantes.

4.1.3. ANÁLISIS DE IMÁGENES RASTER EN TERRSET

TerrSet permite el análisis de imágenes ráster, con una interfaz amigable y fácil de manejar.

a) Visualización de imágenes ráster

Para ejecutar la visualización de ráster, se debe importar de formato TIF que se ha desarrollado en ArcMAP, el programa lo convierte en formato RST que representa al formato TerrSet.

Para ello se analizó en cada una de las variables

- Área urbana 1974
- Área urbana 2019
- Acceso a servicios
- Acceso a vías
- Litoestratigrafía
- Pendientes
- Lucc de área urbana 1974 con 2019

En el cual se verifico que todos los parámetros de raster estén representados con el mismo valor de número de filas y

columnas, la coordenada de cuadrícula del área de trabajo, sistema de proyección, la resolución espacial de 12.5m, valores mínimos y máximos.

File format	IDRISI Raster A.1
File title	
Data type	Byte
File type	Binary
Columns	1360
Rows	1440
Ref. system	Utm-19s
Ref. units	Meters
Unit dist.	1.0000000
Min. X	384800.0000000
Max. X	401800.0000000
Min. Y	8240000.0000000
Max. Y	8258000.0000000
Pos'n error	Unknown
Y Resolution	12.5
X Resolution	12.5
Min. value	1
Max. value	3
Display min	1
Display max	3
Value units	Crossclassification categories

Figura N° 23: Visualización de parámetros de ráster.

b) Cambio de uso del suelo

En los mapas de entrada de uso de los años 1974 y 2019, se verificaron las transiciones y se eliminaron aquellas reconocidas como inexistentes, utilizando el software TERRSET, a través de la tabulación cruzada "CROSSTAB" y "Edit".

Tabla N° 7: Tabulación de mapas

Código	1974	2019	Cambios
1	Urbano	Urbano	Se mantiene el área urbana
2	No urbano	Urbano	Hubo un cambio de uso de no urbano a urbano
3	No urbano	No urbano	Se mantiene el área no urbana
4	Lago	Lago	Hubo un cambio de uso de lago a no urbano y urbano

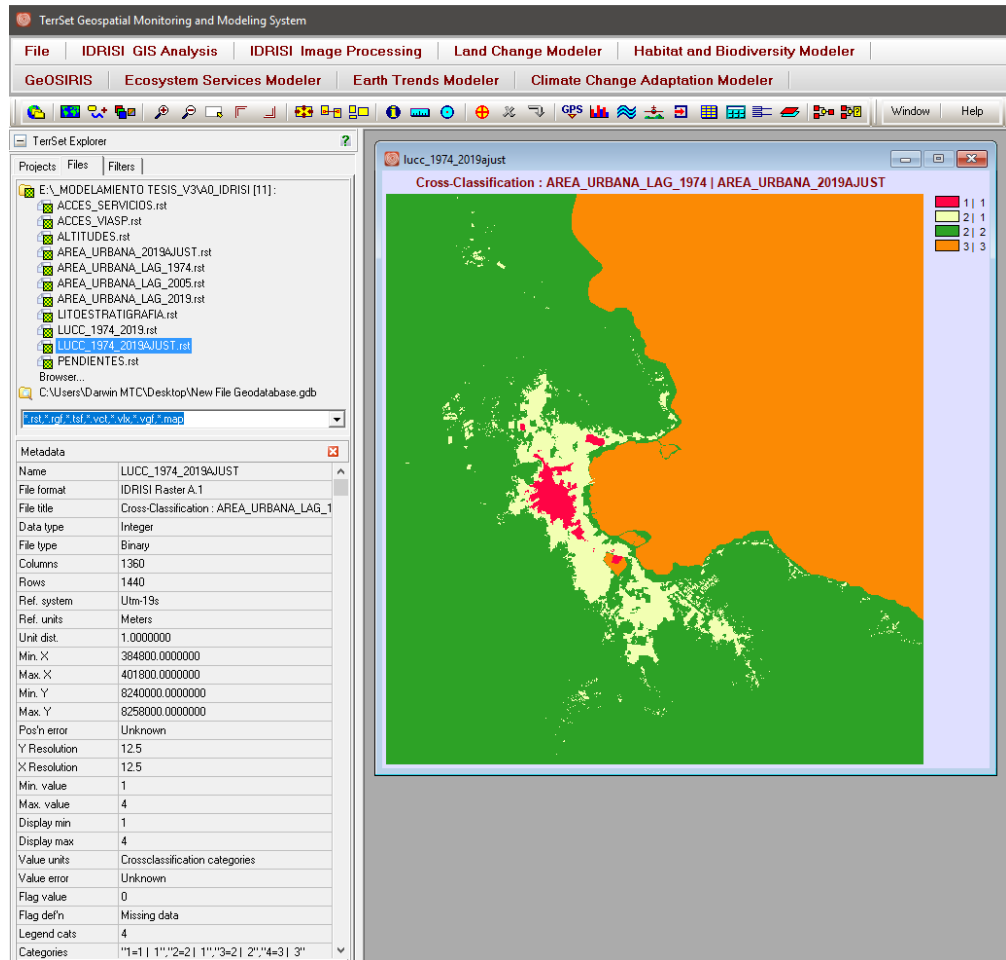


Figura Nº 24: Cruce de tabulación de mapas del año 1974 y 2019.

c) Exportación para formato de ER Mapper

Exportamos en un formato específico para ER Mapper, en dinámicas que están conformadas por área urbana 1974 y área urbana 2019, y estáticos conformados por mapa de pendiente, litoestratigrafía, acceso a servicios, acceso a vías principales.

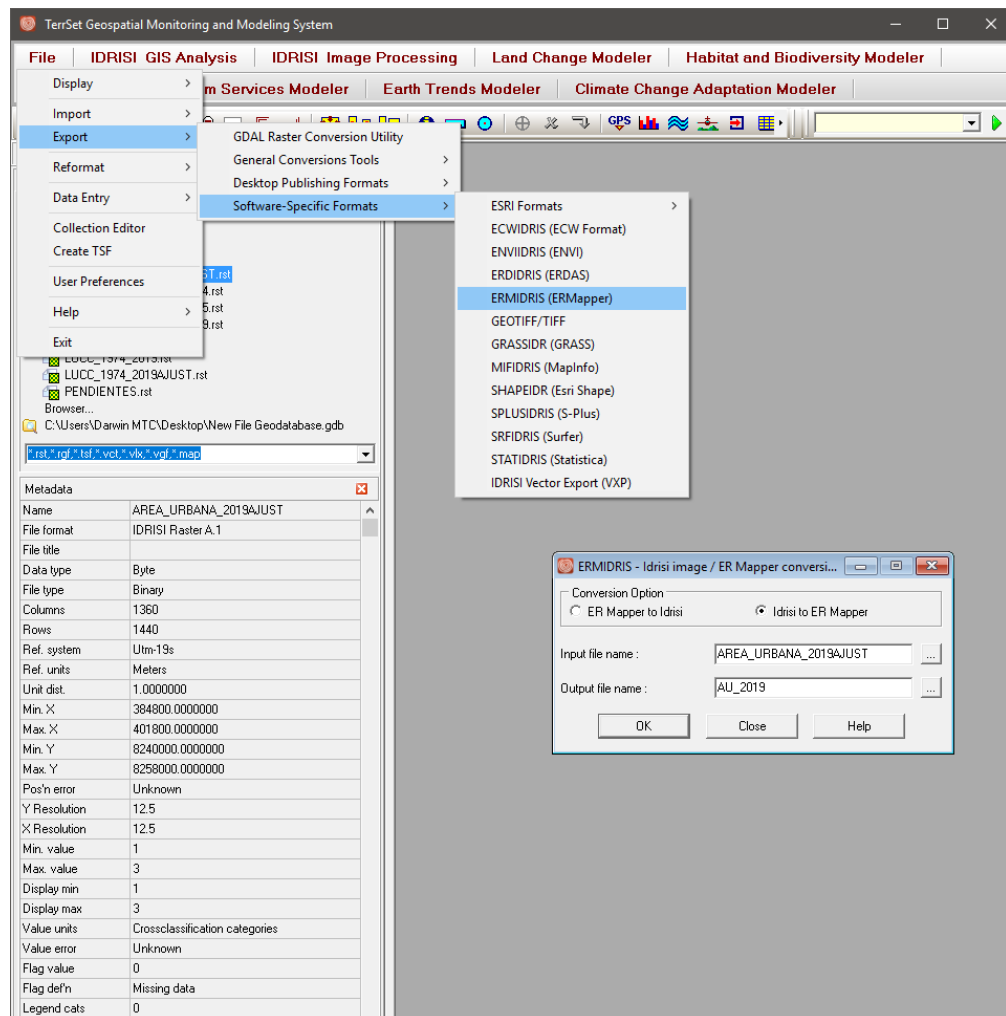


Figura Nº 25: Exportación al formato ER Mapper.

4.1.4. CONFIGURACIÓN DE FORMATO PARA DINÁMICA

ER Mapper solo configuramos el formato para trabajarlo en DINÁMICA EGO, en variables categóricas y continuas

a) Variables dinámicas

Encontramos en variables categóricas al Área Urbana 1974 y 2019 se utiliza para su configuración y guardar

- Data type: Unsigned8BitInteger
- Null Value: 0

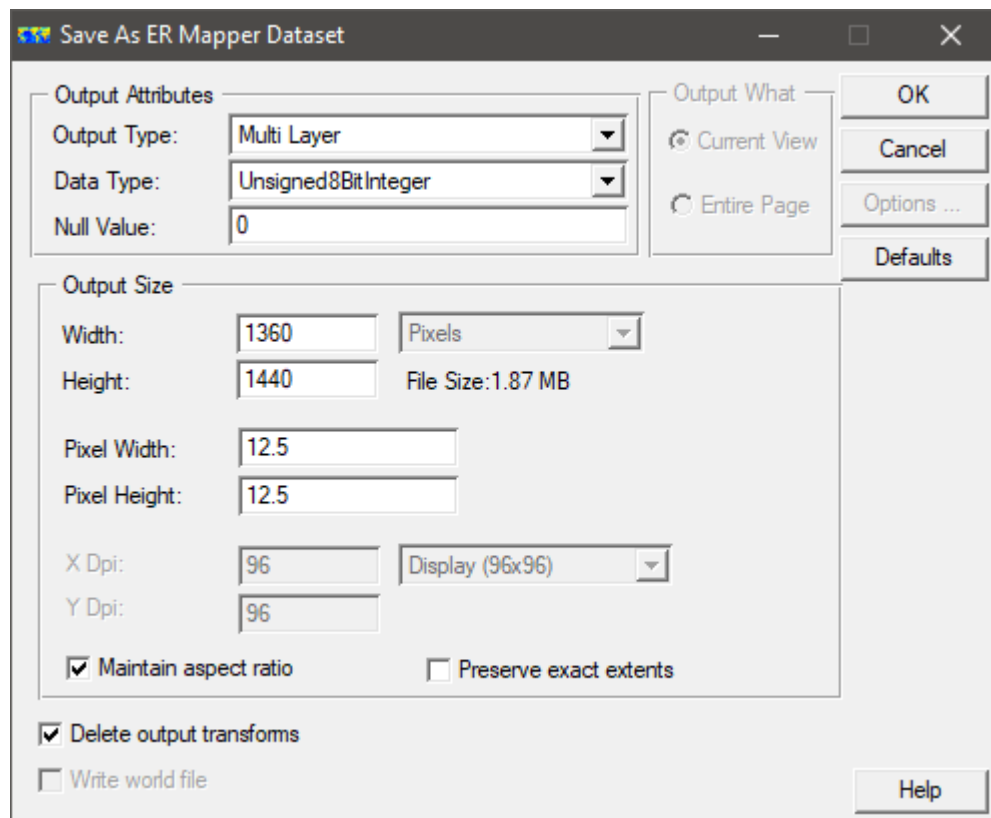


Figura N° 26: Visualización de salida de atributos para variables categóricas.

b) Variables estáticas

Se subdividen en categóricas y continuas.

En el conjunto de variables categóricas, se consideró el mapa geológico (litoestratigrafía). Se utiliza la misma configuración de área urbana.

- Data type: Unsigned8BitInteger
- Null Value: 0

Y en el conjunto de variables continuas, los mapas de: pendientes, acceso de vías y servicios.

- Data type: IEEE4ByteReal
- Null Value: -9999

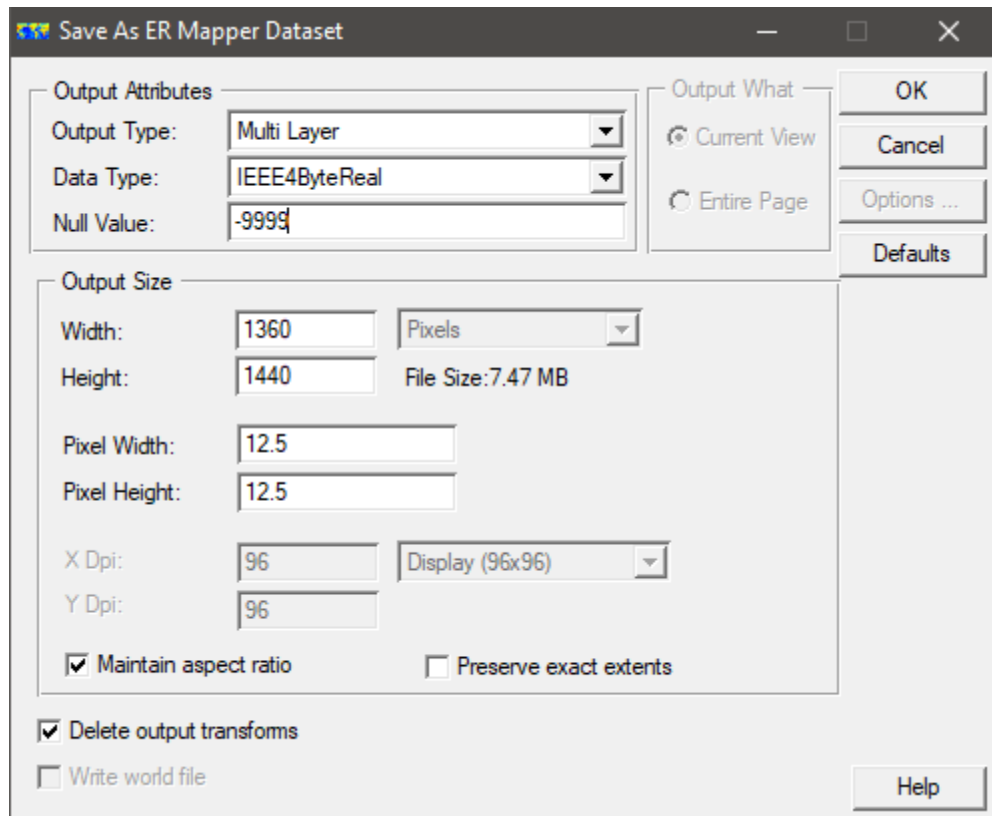


Figura Nº 27: Visualización de salida de atributos para variables continuas.

c) Cubo mixto con variables estáticas:

Las variables estáticas se juntan en un solo raster, en el mismo cubo con el mismo valor ficticio, según el formato de datos continuos o categóricos.

- Data type: Signed32BitInteger
- Null Value: -2147483648

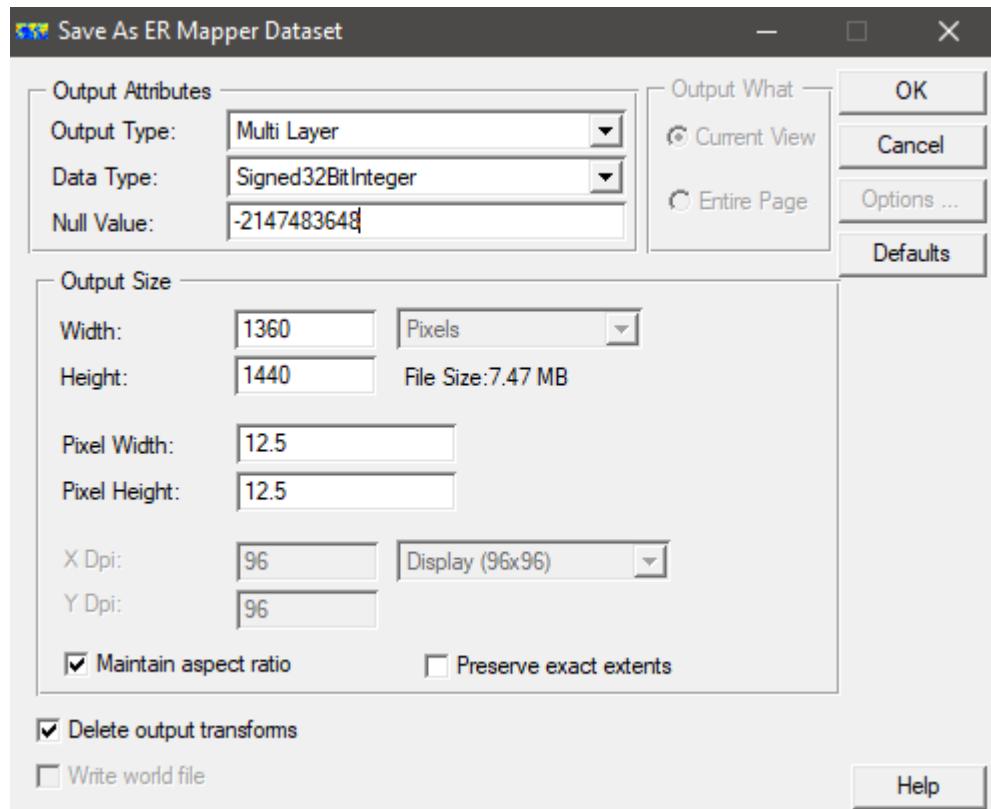


Figura N° 28: Visualización de configuración de cubo mixto

Finalmente se tiene la carpeta de trabajo para el modelamiento dinámico, área urbana 1974, área urbana 2019 y las variables estáticas, en la cual se hizo las ultimas configuraciones de sistema de proyección y unidad de medida.

4.1.5. MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DE USO DE SUELO URBANO BASADO EN AUTÓMATAS CELULARES

Los mapas del paisaje tienen las siguientes clases; el nulo es representado por 0:

Tabla N° 8: Clases de los mapas de entrada

Número	Clase
1	Área Urbana
2	Área no Urbana
3	Lago

Tenga en mente los números que identifican las clases del mapa, ya que Dinámica EGO no maneja los nombres de las clases explícitamente.

a) Datos de entrada

Variables dinámicas: Se ha utilizado dos mapas de área urbana de los años 1974 y 2019.

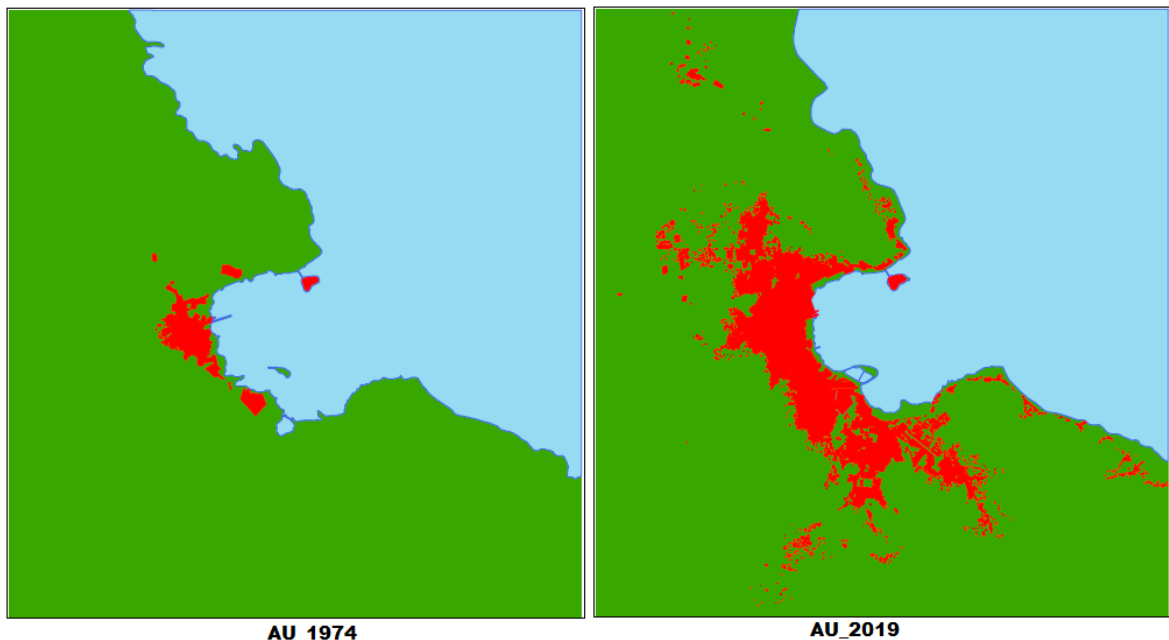


Figura N° 29: Variables dinámicas

Variables estáticas: mapa de acceso a servicios, acceso a vías, pendientes y litoestratigrafía.

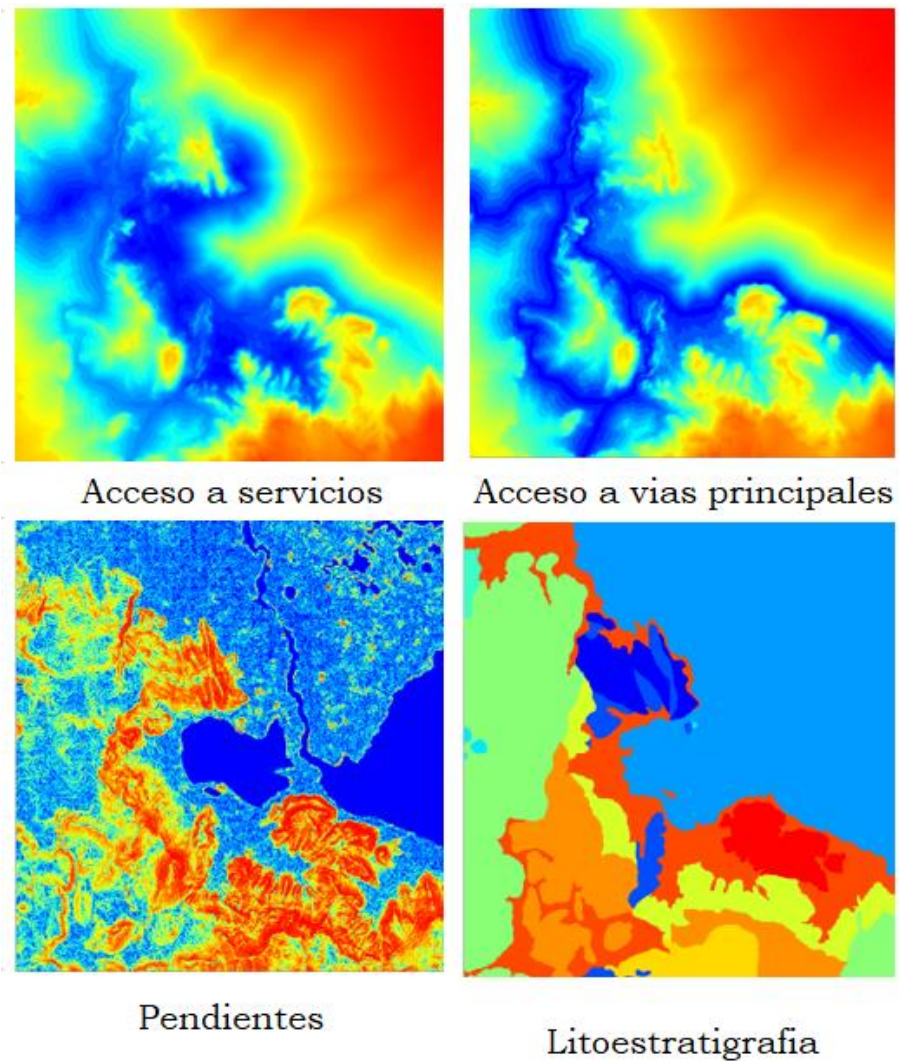


Figura N° 30: Variables estáticas.

4.1.5.1. MATRIZ DE TRANSICIÓN

Se ha determinado el incremento de áreas urbanas entre los años 1974 al 2019 de 1,436 ha y reducción en el área de lago de 1,147 ha.

Tabla N° 9: Análisis de transición entre los años 1974 y 2019 (ha)

		2019			
		Urbano	No urbano	Lago	Total
1974	Categoría				
	Urbano	219	0	0	219
	No urbano	287	17502	0	17789
	Lago	1147	0	11443	12590
Total		1654	17502	11443	30600

Tabla Nº 10: Transición en el periodo de 1974 y 2019 en %.

		2019			
1974	Categoría	Urbano	No urbano	Lago	Total
	Urbano	1	0	0	1
	No urbano	0.016174874	0.983825126	0	1
	Lago	0.091131911	0	0.908868089	1
	Total	1.107306785	0.98382513	0.90886809	

Este parámetro cobra mucha importancia en el modelo, puesto que gracias a él se podrá hacer la proyección para años futuros como el 2065 reduciendo el error de exceso o defecto de la expansión urbana en el momento de la simulación.

Las matrices de transición obtenidas del modelo de cálculo para los años 1974 y 2019.

Tabla Nº 11: Matriz de transición simple

De	A	Tasa de Cambio	%
No Urbano	Urbano	0.075863304	7.58

La matriz de transición simple calcula la tasa de cambio del periodo completo, es decir de 45 años.

Tabla Nº 12: Matriz de transición múltiple

De	A	Tasa de Cambio	%
No Urbano	Urbano	0.00175169	0.17

La matriz de transición múltiple calcula la tasa anualmente, dividiendo la cantidad de cambio del periodo completo por la fracción de cada uso antes del cambio de suelo.

4.1.5.2. RANGO DE LOS PESOS DE EVIDENCIA

- **Mapa de paisaje inicial**
Se carga el mapa categórico de área urbana 1974.
- **Mapa de paisaje final**
Se carga el mapa categórico de área urbana 2019.

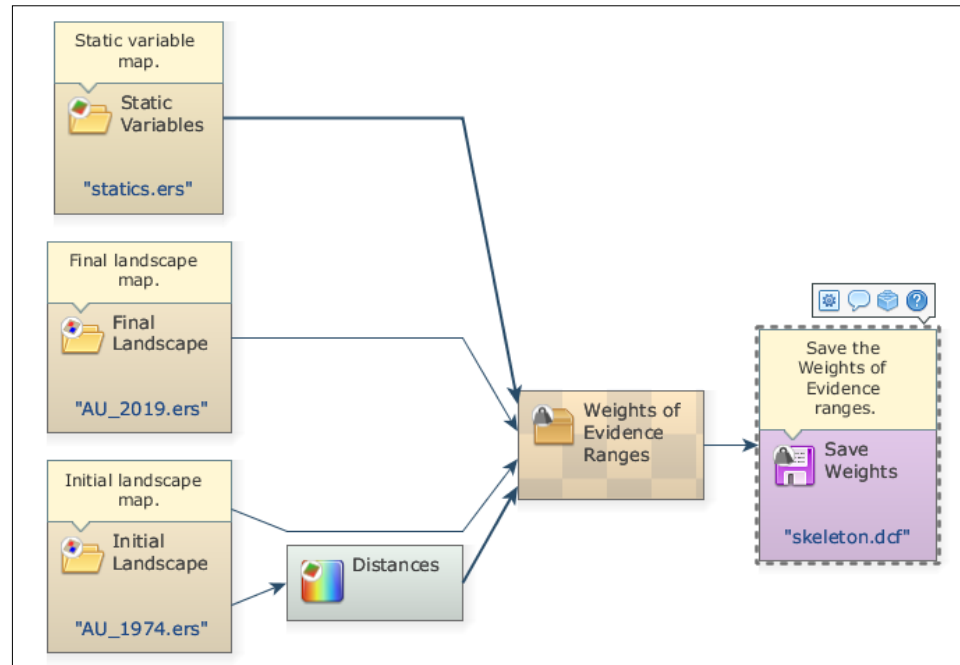


Figura N° 31: Entorno de rango de pesos de evidencia

- **Mapa de variables estáticas**

Se carga el mapa de las variables estáticas que contiene en categóricos el mapa de litoestratigrafía, y en continuas el mapa de pendiente, acceso a servicios, acceso a vías principales.

Dado que el método de pesos de evidencia sólo es aplicable a variables categóricas, fue necesario categorizar aquellas variables continuas (datos cuantitativos, tales como mapas de acceso a servicios, acceso a vías, y pendiente). Es fundamental que, durante el proceso de categorización, se preserve la estructura de la información inicial.

Calcula rangos de acuerdo con la estructura de los datos, al establecer, primero, un incremento mínimo (increment), definido

como el incremento de la interface gráfica del mapa (para el caso de mapas de distancias, este incremento mínimo será la resolución de las celdas de 12.5m.

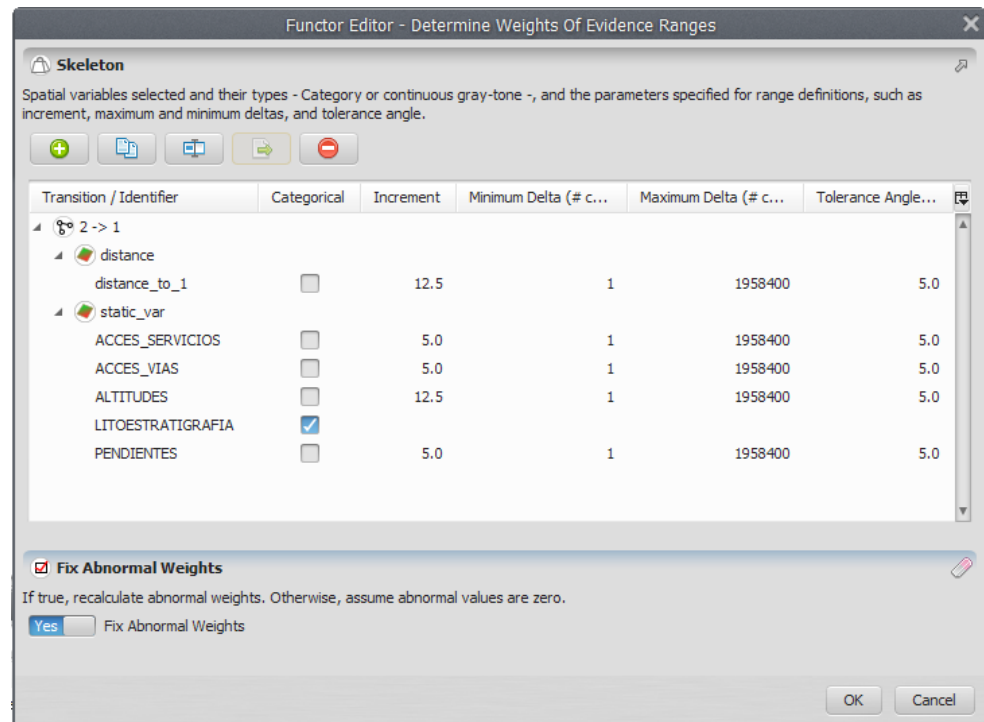


Figura Nº 32: Determinar los parámetros de la categorización

Litoestratigrafía es una variable categórica, por lo que se marcó como tal. El resto de variables fueron categorizadas. Los parámetros de la categorización son el incremento, la unidad mínima del mapa con la que se construirán los buffers, metro o grado, los deltas mínimo y máximo que representan los intervalos en el eje X y el ángulo de tolerancia, el cual mide el ángulo de desviación de una línea recta. Por defecto, aparecen unos valores sugeridos. El resultado de este functor será el archivo del almacén de los pesos de evidencia (Weights of Evidence skeleton), que muestra los rangos de categorización, pero con todos los pesos iguales a cero todavía.



```

:distance/distance_to_1  0:12.5  12.5:25  25:50  50:62.5
62.5:125  125:137.5  137.5:850  850:862.5  862.5:975
975:1250  1250:1487.5  1487.5:1500  1500:1512.5  1512.5:1537.5
1537.5:1550  1550:1562.5  1562.5:1612.5  1612.5:1687.5
1687.5:1700  1700:1712.5  1712.5:1725  1725:1737.5
1737.5:1750  1750:1762.5  1762.5:1775  1775:1787.5
1787.5:1800  1800:1812.5  1812.5:1825  1825:1862.5
1862.5:1875  1875:1900  1900:1912.5  1912.5:2012.5
2012.5:2025  2025:2037.5  2037.5:2062.5  2062.5:2075
2075:2112.5  2112.5:2187.5  2187.5:2200  2200:2212.5
2212.5:2350  2350:2362.5  2362.5:2375  2375:2387.5
2387.5:2412.5  2412.5:2450  2450:2462.5  2462.5:2700
2700:2712.5  2712.5:2937.5  2937.5:2950  2950:2975  2975:3125
3125:3137.5  3137.5:3250  3250:3275  3275:3287.5
3287.5:3425  3425:3437.5  3437.5:3462.5  3462.5:3750
3750:3762.5  3762.5:6737.5  6737.5:11550
2,1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0

:static_var/ACCES_SERVICIOS  0:5  5:10  10:15  15:20  20:55
2,1  0  0  0  0  0

:static_var/ACCES_VIAS  0:5  5:10  10:15  15:50
2,1  0  0  0  0

:static_var/ALTITUDES  0:3862.5  3862.5:3875  3875:3887.5
3887.5:3987.5  3987.5:4000  4000:4012.5  4012.5:4025
4025:4037.5  4037.5:4050  4050:4062.5  4062.5:4075
4075:4087.5  4087.5:4100  4100:4112.5  4112.5:4125  4125:4150
4150:4562.5
2,1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0

:static_var/LITOESTRATIGRAFIA  1:2  2:3  3:4  4:5  5:6
6:7  7:8  8:9  9:10  10:11  11:12
2,1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0

:static_var/PENDIENTES  0:5  5:20  20:30  30:35  35:40
40:45  45:55  55:60  60:195
2,1  0  0  0  0  0  0  0  0  0

```

4.1.5.3. CALCULO DE PESOS

- **Log Odds y la función Logit**

Las probabilidades de registro juegan un papel central en la regresión logística. Cada probabilidad se puede convertir fácilmente en probabilidades de registro, encontrando la razón de probabilidades y tomando el logaritmo.



Tabla N° 13: Probabilidad de pesos de distancia a la zona urbana

Distancia	Probabilidad	$p/(1-p)$	$\ln [p/(1-p)]$
		Odds	Log Odds
12.5	0.999240036	1314.851843	7.181479272
25	0.997744621	442.3845534	6.092179534
50	0.995807262	237.5076202	5.470199708
62.5	0.993656991	156.6538711	5.054038729
125	0.989347493	92.8746169	4.531250378
137.5	0.980728558	50.89025207	3.929671394
850	0.914604724	10.71024967	2.371201196
862.5	0.794449509	3.864984726	1.35195773
975	0.785650296	3.665273518	1.298902962
1250	0.726264395	2.653160133	0.975751433
1487.5	0.636177456	1.748592731	0.558811311
1500	0.641963375	1.793010349	0.583895967
1512.5	0.624659462	1.664247259	0.509372924
1537.5	0.637131773	1.755821328	0.562936741
1550	0.649261385	1.851126044	0.615794126
1562.5	0.664125641	1.97730378	0.681734189
1612.5	0.662369088	1.961814111	0.673869612
1687.5	0.654981141	1.89839229	0.641007365
1700	0.639535401	1.774197528	0.573348224
1712.5	0.661855467	1.957315298	0.671573788
1725	0.628153603	1.689282478	0.524303869
1737.5	0.643492144	1.804987279	0.590553544
1750	0.621872714	1.644612109	0.497504556
1762.5	0.657088851	1.916207315	0.650347876
1775	0.631451556	1.713347505	0.538449062
1787.5	0.649228692	1.850860312	0.615650565
1800	0.621503785	1.642034347	0.495935929
1812.5	0.642755207	1.79920105	0.587342705
1825	0.632087236	1.718035623	0.541181558
1862.5	0.616967635	1.610745439	0.476697078
1875	0.600570102	1.503568225	0.4078411
1900	0.587639888	1.425064819	0.3542173
1912.5	0.593198774	1.458203015	0.377204866



2012.5	0.564724577	1.297395965	0.260359152
2025	0.494982405	0.980129029	-0.020071054
2037.5	0.508757281	1.03565358	0.035032706
2062.5	0.523820807	1.100049759	0.095355414
2075	0.534917965	1.150158304	0.139899589
2112.5	0.545214794	1.198840212	0.1813546
2187.5	0.560348033	1.274526388	0.24257465
2200	0.649208982	1.850700126	0.615564014
2212.5	0.667851157	2.010698433	0.698482141
2350	0.641834389	1.792004503	0.583334827
2362.5	0.587923778	1.426735508	0.355388973
2375	0.555073353	1.247561495	0.221190842
2387.5	0.519483316	1.081093192	0.077972744
2412.5	0.49938782	0.997554276	-0.00244872
2450	0.474552455	0.903139543	-0.101878205
2462.5	0.396092788	0.655883521	-0.421772065
2700	0.385034495	0.626107468	-0.468233249
2712.5	0.488385284	0.95459585	-0.046467222
2937.5	0.451155525	0.822009777	-0.196002989
2950	0.386670613	0.630445272	-0.461328928
2975	0.423001974	0.733108183	-0.310461999
3125	0.38829197	0.634766833	-0.454497539
3137.5	0.298410708	0.425335323	-0.854877426
3250	0.251044364	0.33519257	-1.093050078
3275	0.18603462	0.22855348	-1.475985049
3287.5	0.114589341	0.129419428	-2.04469677
3425	0.148178239	0.173954513	-1.748961434
3437.5	0.191464011	0.236803326	-1.440525331
3462.5	0.237922168	0.312201927	-1.164105097
3750	0.249675458	0.33275662	-1.100343927
3762.5	0.279246232	0.387436382	-0.948203619
6737.5	0.138636719	0.160950347	-1.826659365
11550	0.039169551	0.040766351	-3.199898271

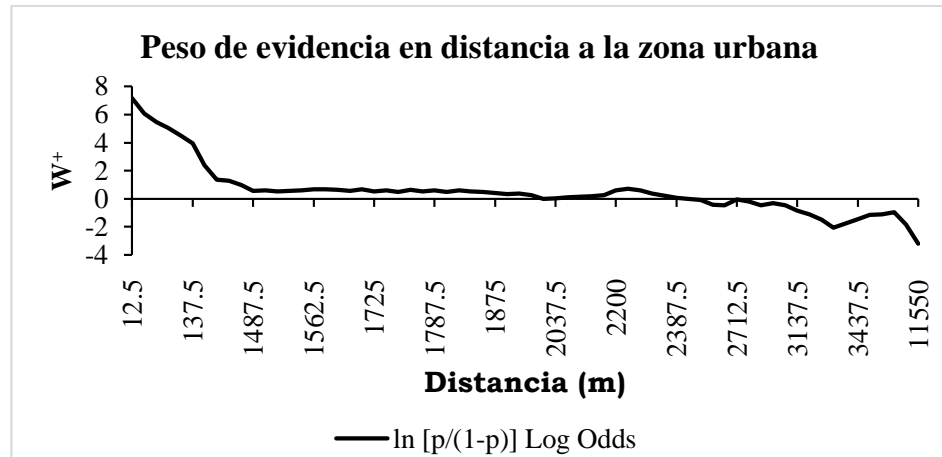


Figura N° 33: Coeficiente de pesos de evidencia en distancia a la zona urbana

Para distancias de hasta 2km se determinó que los pesos de evidencia son positivos.

Tabla N° 14: Probabilidad de pesos en accesibilidad a servicios

Tiempo (min)	Probabilidad	p/(1-p)	ln [p/(1-p)]
		Odds	Log Odds
5	0.887895564	7.920253582	2.069423223
10	0.177433252	0.215706813	-1.533835139
15	0.016667876	0.016950403	-4.077463679
20	6.77335E-11	6.77335E-11	-23.41544032
55	6.24425E-11	6.24425E-11	-23.49677525

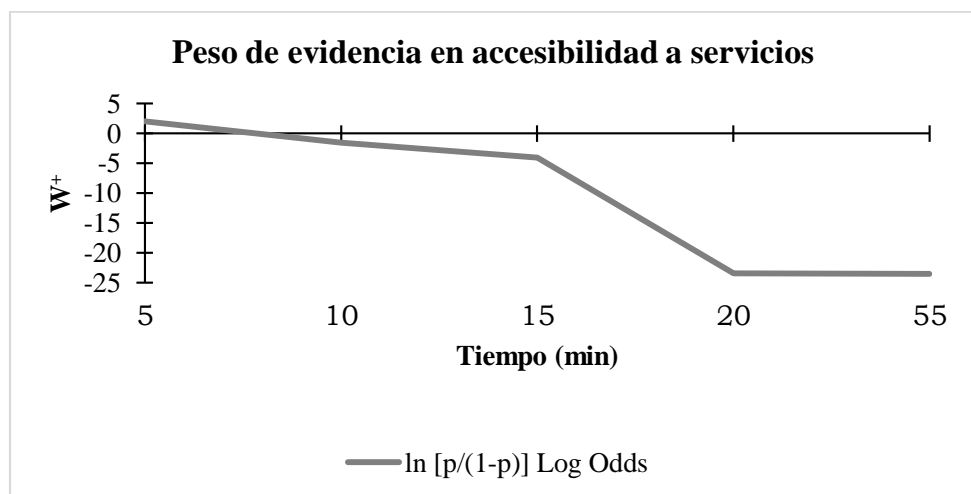


Figura N° 34: Coeficiente de pesos de evidencia en accesibilidad a servicios

En la accesibilidad a servicios para un tiempo de hasta 7 min se determinó que los pesos de evidencia son positivos.

Tabla N° 15: Probabilidad de pesos en accesibilidad a vías principales

Tiempo (min)	Probabilidad	$p/(1-p)$	$\ln [p/(1-p)]$
		Odds	Log Odds
5	0.718483961	2.552195478	0.93695396
10	0.216661053	0.276586595	-1.285231323
15	0.070743149	0.076128736	-2.575329482
50	0.007571169	0.007628929	-4.875807828

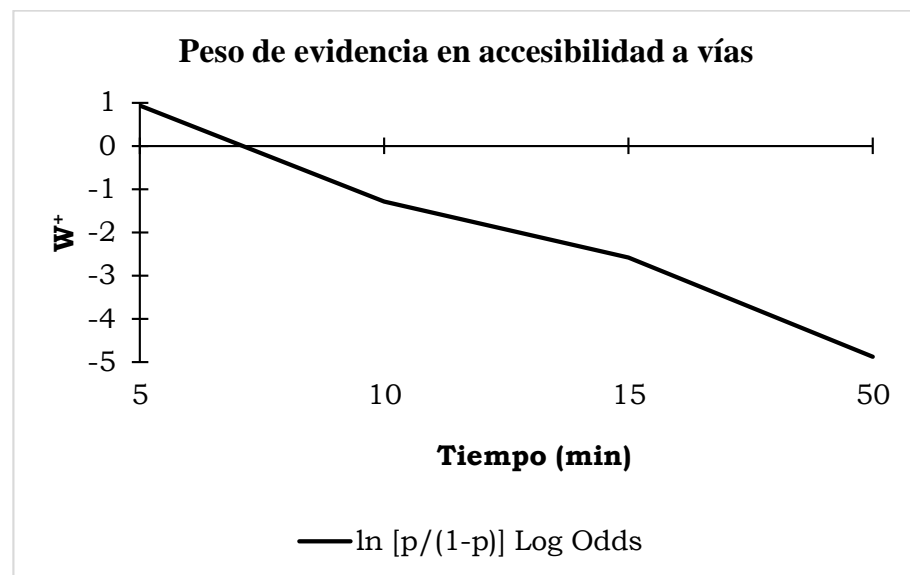


Figura N° 35: Coeficiente de pesos de evidencia en accesibilidad a vías principales

En la accesibilidad a vías principales para un tiempo de hasta 5 min se determinó que los pesos de evidencia son positivos.

Tabla N° 16: Probabilidad de pesos litoestratigrafía

Litología	Probabilidad	$p/(1-p)$	$\ln [p/(1-p)]$
		Odds	Log Odds
Kis-ay	0.811640095	4.308985477	1.460702488
Q-a	0.758208067	3.135787269	1.142880265
P-pu	0.630333101	1.705138066	0.533646085
Ki-hn	0.430760685	0.756730384	-0.278748253
LAGO	0.286248625	0.40104809	-0.913673934
Nq-um	0.152454444	0.179877581	-1.715478764

PN-ta-s	0.088906913	0.097582689	-2.327055171
Q-pu	0.032870414	0.0339876	-3.381759521
PN-ta	0.000708912	0.000709415	-7.25106969
N-a	3.75522E-09	3.75522E-09	-19.40011861
N-mz	1.30994E-09	1.30994E-09	-20.45328459

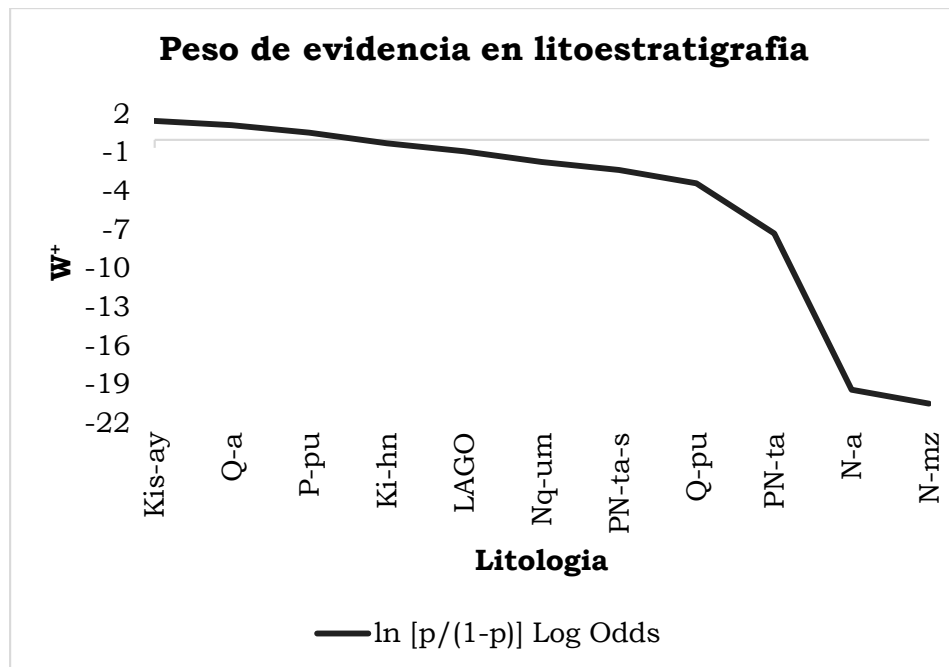


Figura Nº 36: Coeficiente de pesos de evidencia en litoestratigrafía

En litoestratigrafía para las litologías kis-ay (Formacion Familia Ayabacas), Q-a (Aluvial, depósitos de gravas), P-pu, (Grupo Puno, compuesto por conglomerados), se determinó que los pesos de evidencia son positivos y para el resto negativos.

4.1.5.4. CORRELACIÓN DE PESOS DE EVIDENCIA

Para el método de pesos de evidencia es que las categorías de los mapas a ser utilizados como insumos de entrada con el área urbana 1974 (AU_1974) como mapa inicial, las variables estáticas y el cálculo de pesos el anterior paso) sean espacialmente independientes. Para esto, se aplica un grupo de pruebas estadísticas para estimar este supuesto, como el índice de Cramer (V), de incertidumbre de información conjunta (U).

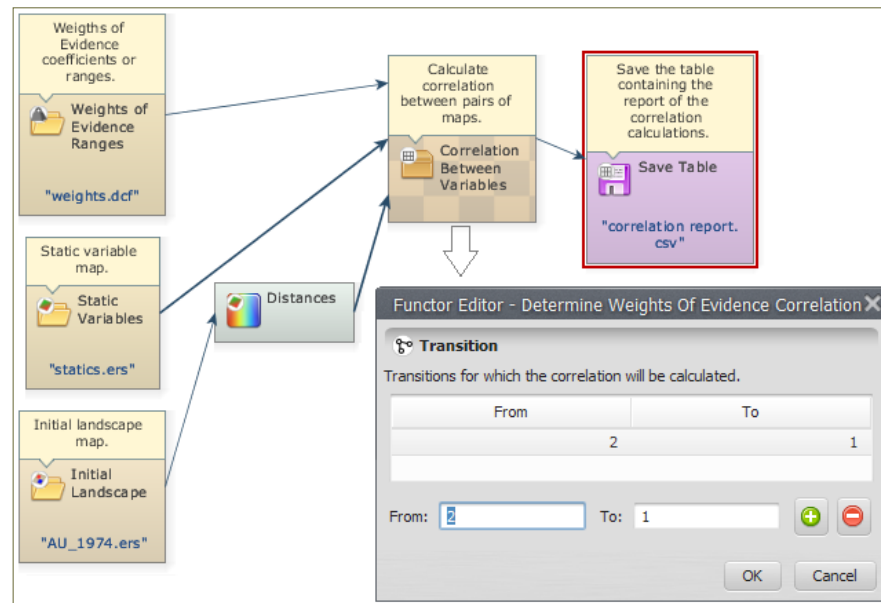


Figura Nº 37: Entorno de correlación de pesos de evidencia

En nuestro modelo se tuvo tan solamente una sola transición de 2 a 1, no urbano que representa el número 2 y el urbano que representa el número 1.

Todas las variables son representativas.

Tabla Nº 17: Calculo de asociación espacial.

Transición	Primera variable	Segunda variable	Cramer	Joint Uncertainty
2 1	distance/distance_to_1	static_var/ACCES_SER	0.396341477	0.221378456
2 1	distance/distance_to_1	static_var/ACCES_VIAS	0.31070659	0.130058794
2 1	distance/distance_to_1	static_var/ALTITUDES	0.133594411	0.056872701
2 1	distance/distance_to_1	tatic_var/LITOEESTRAT	0.211083685	0.096085596
2 1	distance/distance_to_1	static_var/PENDIENTES	0.080364266	0.013908499
2 1	tatic_var/ACCES_SER	static_var/ACCES_VIAS	0.546164842	0.409067376
2 1	static_var/ACCES_SER	static_var/ALTITUDES	0.246518641	0.095080177
2 1	S tatic_var/ACCES_SER	static_var/LITOEESTRAT	0.272373635	0.136795127
2 1	Static_var/ACCES_SER	static_var/PENDIENTES	0.101694476	0.02176311
2 1	Static_var/ACCES_VIAS	static_var/ALTITUDES	0.27063647	0.108444644
2 1	static_var/ACCES_VIAS	static_var/LITOEESTRAT	0.316586197	0.168116216
2 1	static_var/ACCES_VIAS	static_var/PENDIENTES	0.145156513	0.038387145
2 1	static_var/ALTITUDES	static_var/LITOEESTRAT	0.388128486	0.387928821
2 1	static_var/ALTITUDES	static_var/PENDIENTES	0.248355437	0.148808954
2 1	static_var/LITOEESTRAT	static_var/PENDIENTES	0.294612561	0.213128935

En la tabla se observó que la variable estática de acceso a servicio y acceso a vías nos dice que en cramer es redundante, pero



en Incertidumbre conjunta nos dice que no es redundante por lo que se consideró trabajar con ambos, no hay asociación de redundancia. De a partir de este paso se construyó el modelo de simulación.

4.1.5.5. SIMULACIÓN DE MODELO

Se construyó el modelo de simulación del área urbana cargando los insumos. AU_1974 como mapa inicial, el cubo de variables estáticas, cálculo de pesos de evidencia, y lo inicialmente calculado en la matriz de transición múltiple a partir de los cuales se ejecutó el modelo.

A través de los parámetros de varianza de transición de expandir y patcher.

Se trabajó en ArcGIS con el obtenido de la tabulación cruzada que se ejecutó en TERRSET, el Uso del suelo y cambio de cobertura (LUCC) del año 1974 y 2019.

Tabla Nº 18: *Análisis de transición de no urbano a urbano.*

Transición 2-1		
1974	2019	Resultado
2	1	2
1	1	1
3	1	1
Resto		0

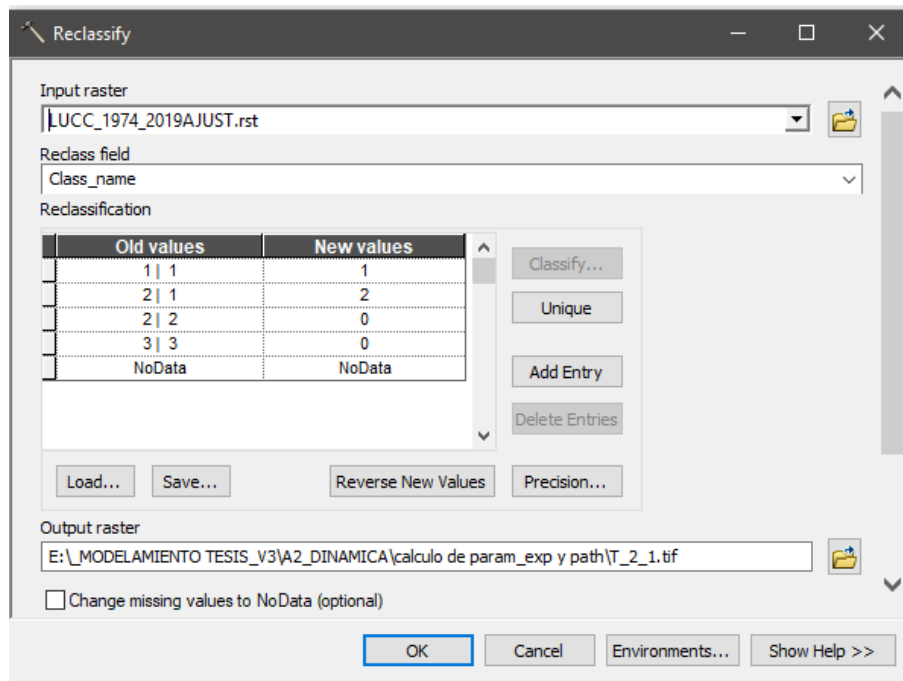


Figura Nº 38: Reclasificación del LUCC

Una vez reclasificado la transición se convirtió a vector y finalmente se obtendrá el Expander y el Patcher.

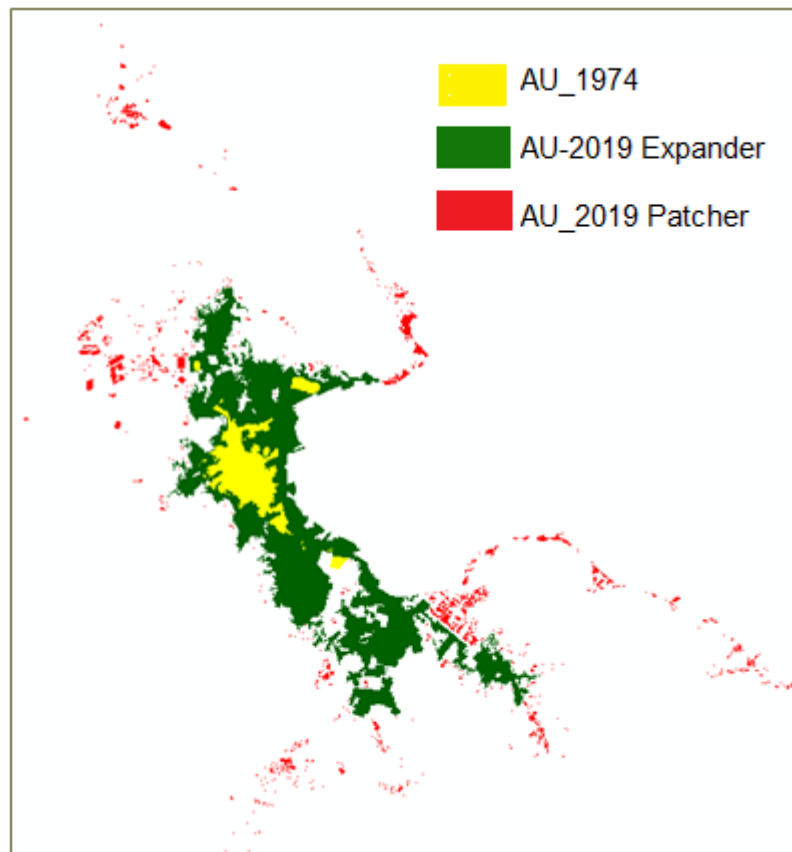


Figura Nº 39: Visualización del expander y patcher

El color amarillo representa el área urbana del año 1974 a partir de ello se analizó el expander y el patcher, en este caso tenemos como resultado el color verde representa al expander y el color rojo el patcher.

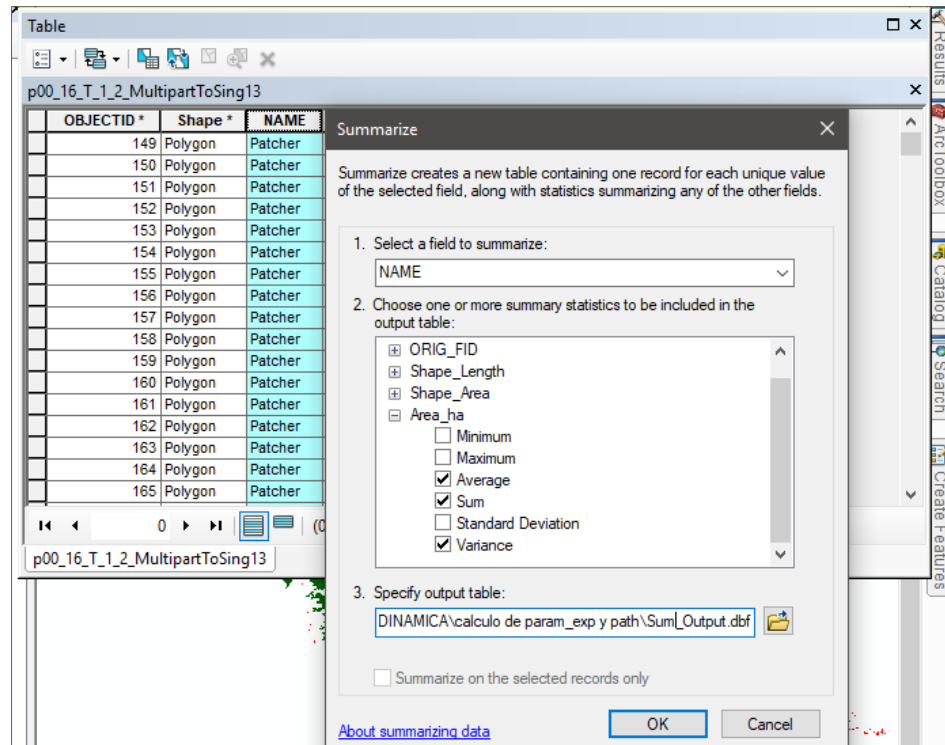


Figura Nº 40: Visualización para generar el área de expander y patcher

En la tabla de atributos se seleccionó en el NAME de expander y patcher y aplico summarize y seleccionamos Average, Sum y Variance. presenta el área media y los parámetros de varianza para los algoritmos de transición de expansión y parche, que son responsables de asignar los cambios de uso de suelo en el modelado, que se obtuvieron calculando las selecciones por ubicación de las transiciones en los períodos de 1974 y 2019

Tabla Nº 19: Parámetros de Expandir y Patcher.

Modelo	Transición	Área media (ha)		Varianza		%	
		Expandir	Patcher	Expandir	Patcher	Expandir	Patcher
1974-2019	2-1	1237.156	199.609	9146.413	0.213	0.861	0.139

En la pestaña Updated Landscape (Submodel) se ingresó los valores que hemos obtenido de los parámetros de expander y patcher

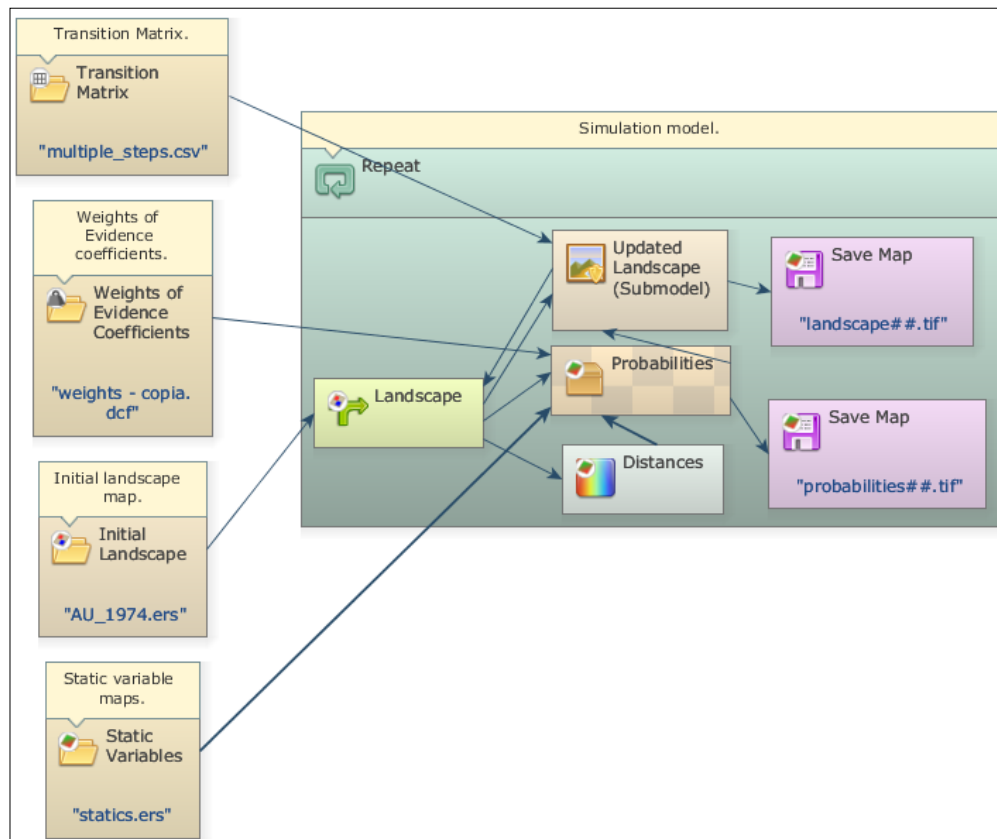


Figura Nº 41: Entorno de simulación del modelo.

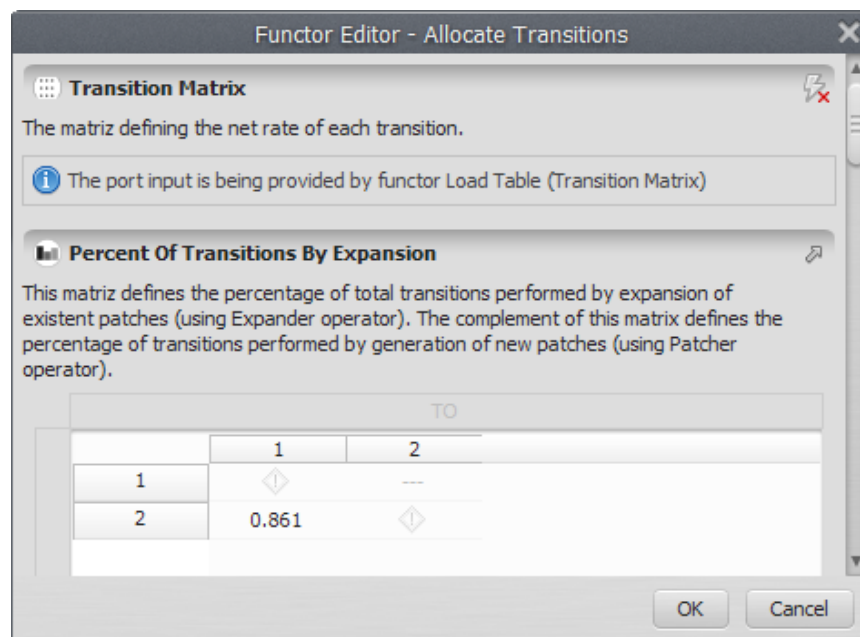


Figura Nº 42: Ingreso de parámetros de Expander y Patcher

Finalmente se verifico que todos los parámetros estén ingresados y se ejecuta el modelo, una vez terminado el proceso se pudo visualizar los mapas generados por el modelo en la pestaña map viewer.

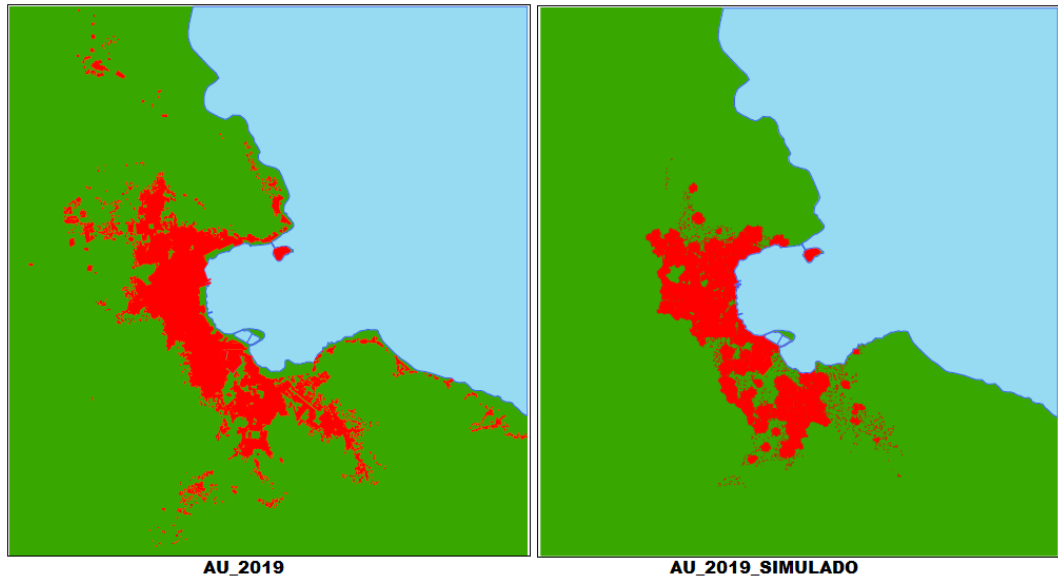


Figura N° 43: Mapa observado vs Mapa modelado año 2019

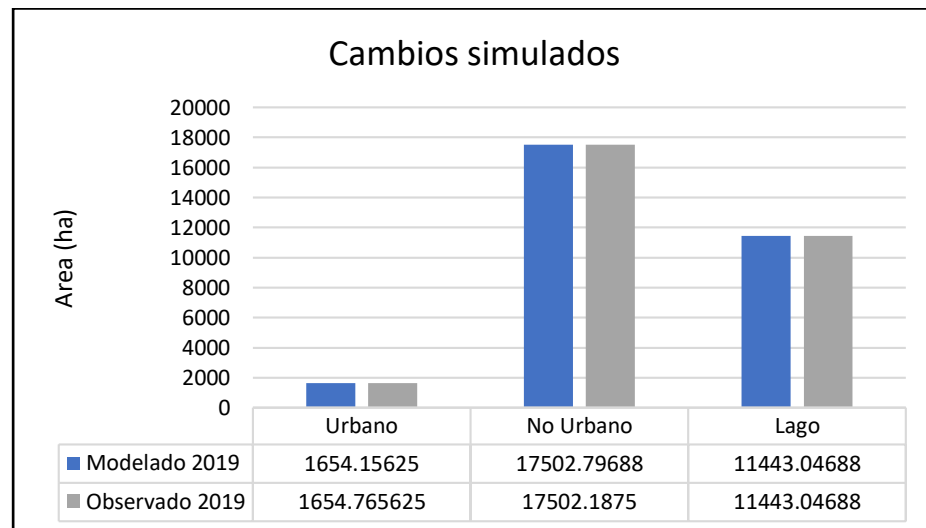


Figura N° 44: Cambios de área observado vs modelado año 2019

Las formas en el modelado no coinciden exactamente con lo que se ha observado en realidad, esto es debido a que el contorno de la ciudad en el año inicial estaba concentrado solo en el centro y no presentaban patcher en gran número esparcidos en la periferia de la ciudad.

Las áreas que se han modelado para el año 2019 no siempre se tiene que identificar a precisión, ya que nuestro objetivo no es

exactamente predecir lo observado a la realidad de la ciudad, se refiere a detectar patrones y tendencias en el cambio del uso de suelo, con exactitud no se puede predecir el comportamiento humano debido a que cambiamos de decisiones constantemente.

4.1.5.6. VALIDACIÓN DE LA SIMULACIÓN

Como insumos, el modelo recibe el mapa inicial que es el AU_1974, el final AU_2019, y el mapa final simulado.

El AU_1974 y AU_2019 representan los cambios observados en el mapa, mientras el AU_1974 y el mapa final simulado a partir de la inicial representa cambios simulados.

En las pestañas de cambios observados y cambios simulados se observó que se ingresa la ecuación:

$$if (i1 = i2) then null else i2$$

En la pestaña similarities (Mapa de similitud recíproca de cálculo), es para seleccionar el decaimiento exponencial y el decaimiento constante ambos se ejecutaron en diferentes salidas.

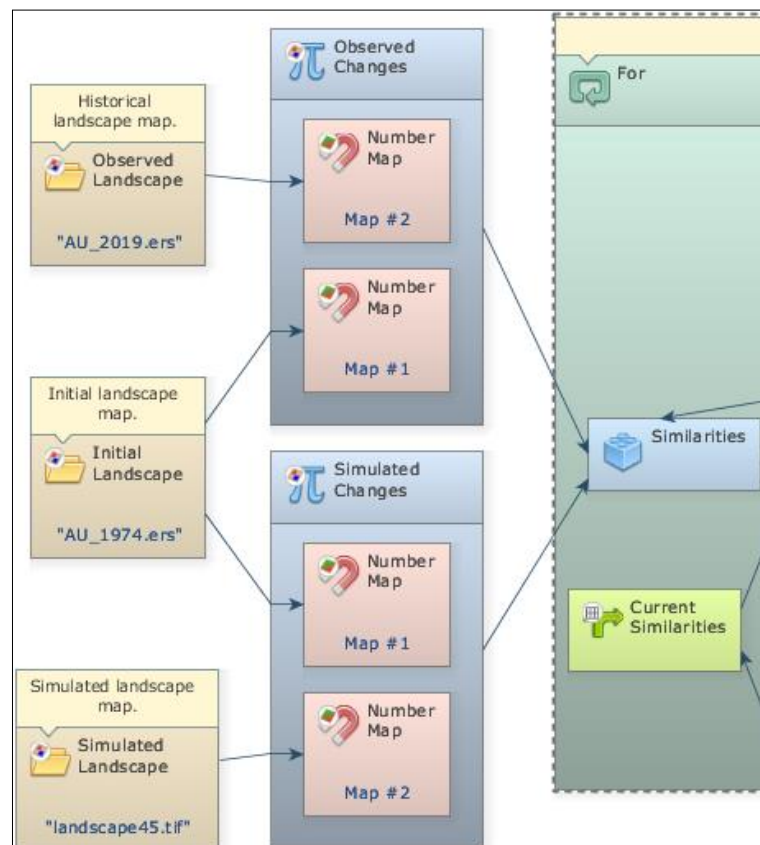


Figura N° 45: Entorno de Validación del Modelo

Tabla Nº 20: Validación por Índice de Similaridad de Fuzzy

Modelo	Tamaño de ventana (píxeles)	ISF	ISF
		Decaimiento constante	Decaimiento exponencial
1974-	1 x 1	0.610833796	0.611126223
2019	3 x 3	0.674979419	0.682071878
	5 x 5	0.707224278	0.714434563
	7 x 7	0.722973693	0.728957604
	9 x 9	0.731017448	0.735325523
	11 x 11	0.735112862	0.737680639
ISF=	Índice de Similaridad de Fuzzy		

4.1.5.7. PROYECCIÓN AL AÑO 2065

Después de calibrar y validar el modelo, fue generado escenarios prospectivos de cambio de uso de suelo del año 2019 para el año 2065.

El resultado de la validación del modelo de la simulación fue obtenido por medio de decaimiento exponencial y constante con el método de similaridad de fuzzy, con el mapa final simulado.

En esta simulación el modelo se repitió para la misma cantidad de 45 años que se calculó los pesos de evidencia es decir hasta el año 2065, y las probabilidades a representar es de 2 a 1, valga la redundancia describir no urbano con código 2 y urbano con código 1.

Para la proyección futura al 2065 se ha utilizado como mapa inicial el área urbana 2019 el cubo de variables estáticas, los pesos de evidencia calculados en el periodo de 1974 y 2019, y la matriz de la transición múltiple.

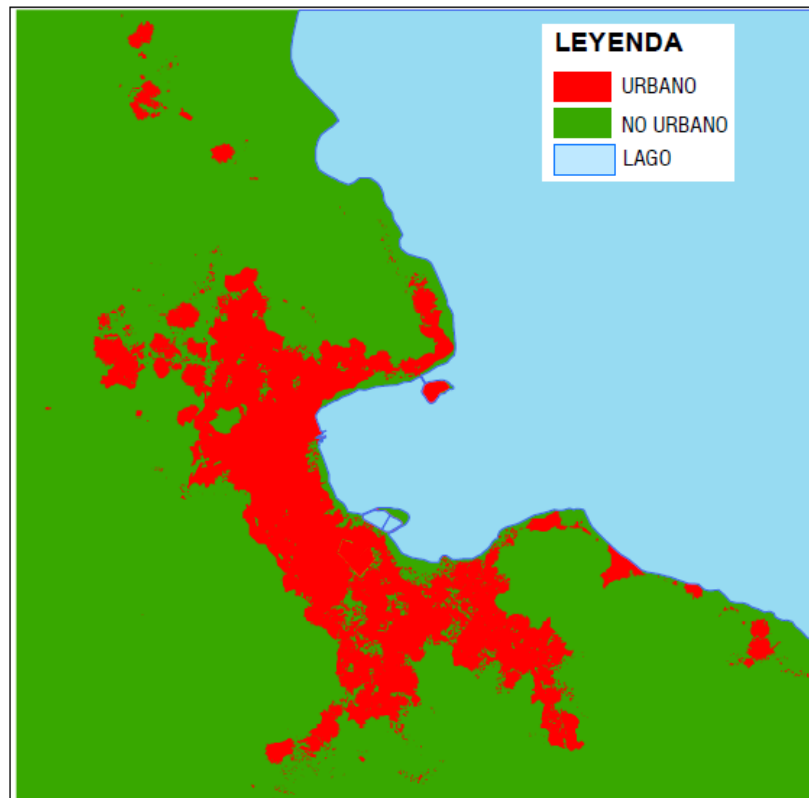


Figura N° 46: Mapa de proyección para el año 2065.

El modelo prospectivo reporto 1,327 ha, de incremento de área urbana al año 2065 y reducción en área del lago de 164 ha.

Tabla N° 21: Cambio de uso no urbano a Urbano, periodo 2019-2065.

Áreas de uso de suelo del año 2019-2065 (ha)

	2019	2065
Urbano	1655	2982
No urbano	17502	16339
Lago	11443	11279

Según los resultados y al buen ajuste del modelo prospectivo al 2019, se realizó la predicción para el año 2065, tomando como base la cobertura de cambio de uso de suelo de los años 1974 y 2019, es decir, 45 años a partir del periodo de referencia (2019).

4.2. DISCUSION

4.2.1. MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DE USO DE SUELO URBANO BASADO EN AUTÓMATAS CELULARES

a) MATRIZ DE TRANSICIÓN

De las **Figura N° 17** y **Figura N° 18** se ha determinado el incremento de áreas urbanas entre los años 1974 al 2019 de 1,436 ha y reducción en el área de lago 1147 ha, tal como muestra la tabla inferior.

Tabla N° 22: Cambio de uso no urbano a Urbano, periodo 1974-2019.

Áreas de cobertura de uso de suelo (ha)		
	1974	2019
Urbano	219	1654
No urbano	17789	17502
Lago	12590	11443

De este análisis se obtuvo que en un 7.58% del área no urbano se ha urbanizado para el año 2019. La tasa de crecimiento urbano entre los años 1974 y 2019 es de 31.91 hectáreas por año.

b) CALCULO DE PESOS

En referente al cálculo de pesos se puede decir lo siguiente:

Se ha determinado los pesos para cada una de las variables que se ha considerado

- El resultado de la **Tabla N° 13** referido a la probabilidad de pesos de distancia a la zona urbana se observa que para distancias de hasta 2km los pesos son positivos, por tanto, la probabilidad de que estas se urbanice es mayor al 50% esto de acuerdo a función *logit* y *log odds*.
- De acuerdo a la **Tabla N° 14** referido a la probabilidad de pesos de accesibilidad a servicios básicos se observa que para un tiempo de 7min aproximadamente, los pesos son positivos, por tanto, la probabilidad de que estas se urbanice es mayor al 50% esto de acuerdo a función *logit* y *log odds*.

- De acuerdo a la **Tabla N° 15** referido a la probabilidad de pesos de accesibilidad a vías principales se observa que para un tiempo de 7min aproximadamente, los pesos son positivos, por tanto, la probabilidad de que estas se urbanice es mayor al 50% esto de acuerdo a función *logit* y *log odds*.
- De acuerdo a la **Tabla N° 16** referido a la probabilidad de pesos de litoestratigrafía se obtuvo que para las litologías *kis-ay* (*Formacion Familia Ayabacas*), *Q-a* (*Aluvial, depósitos de gravas*), *P-pu*, (*Grupo Puno, compuesto por conglomerados*), se determinó que los pesos son positivos, por tanto, la probabilidad de que estas se urbanice es mayor al 50% esto de acuerdo a función *logit* y *log odds*.

Por consiguiente, para pesos menores a cero la posibilidad de que se urbanice es menor al 50%.

c) CORRELACIÓN DE PESOS DE EVIDENCIA

En referencia al resultado de la correlación de pesos de evidencia se mostradas en la **Tabla N° 17** (Calculo de asociación espacial), se observó que en solo una asociación de variables el valor de **cramer** es de **0.5461** y en el **joint Uncertainty** (incertidumbre conjunta de información) es **0.4090**, considerando que (Bonham-Carter, 1994) indica que los valores menos de **0.5** para el índice de **Cramer** y la **joint Uncertainty** estas son de menor asociación, dado que el valor de **cramer** excedió, pero en **joint uncertainty** se encuentra dentro del rango. Se optó por no descartar este análisis.

d) SIMULACIÓN DE MODELO

En referencia a los resultados obtenidos en las **Figura N° 43** y **Figura N° 44** se observa que gráficamente el modelo simulado no coincide con lo observado, en este modelo no se pretende que las zonas urbanas coincidan exactamente, pero si se pretende aproximar las zonas a urbanizarse. Considerando que la zona de salcedo fue acertada se puede considerar que el modelo es aceptable.



e) VALIDACIÓN DE LA SIMULACION

Al validar nuestro modelo con el mapa observado 2019 y el modelado 2019 se ha llegado a un resultado de similitud de 0.7 para celda de 5x5 tanto en el decaimiento constante y el decaimiento exponencial, por consiguiente, se deduce que nuestro modelo tiene una similitud considerable, para generar escenarios de dinámica de uso de suelo. Esto debido a que (Hagen, 2003) indica que el valor de 0,5 resultante de la operación debe interpretarse como "considerablemente similar". Sin embargo, se observa que este valor de similitud se debe al hecho de que ambas celdas centrales son vecinas de una celda gris. Por lo tanto, la similitud calculada se basa en los vecinos más que en las celdas mismas. Así mismo (Almeida, 2003) en sus resultados de simulación sometió a pruebas de validación estadística basadas en el procedimiento de ajuste de resolución múltiple propuesto por Constanza (1989), para ventanas de tamaños 3x3, 5x5 y 9x9, y $k = 0.5$.

f) PROYECCIÓN AL AÑO 2065

Previa validación del modelo entre los mapas observado y modelado del año 2019, y considerando los mismos cálculos de pesos obtenidos entre los años 1974 y 2019, se ha obtenido la simulación del crecimiento urbano para el año 2065, tal como se muestra en la **Figura N° 46**. De ello se observó que las zonas de Alto Puno, Patallani, Urus Chulluni, Mi Peru, Jayllihuaya e Ichu tienen mayor posibilidad a urbanizarse.



V. CONCLUSIONES

En la presente investigación se tiene las siguientes conclusiones:

- Los factores que influyen en el crecimiento urbano entre los años 2019 – 2065 de la ciudad de Puno son la pendiente, litoestratigrafía, accesibilidad a los servicios y accesibilidad a las vías principales.
- Con el modelo de autómatas celulares que se basó en el cálculo de pesos de evidencia por rangos para cada una de las variables que se ha identificado, se ha logrado calibrar y validar el modelo de simulación dinámico espacial del crecimiento urbano entre los años 1974 – 2019.
- Se ha simulado el crecimiento urbano para el año 2065, encontrándose que las zonas de Totorani, Patallani, Urus Chulluni, Mi Peru, Jayllihuaya e Ichu tienen mayor posibilidad de urbanizarse para el año proyectado.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar el modelamiento con autómatas celulares para la generación de simulación del crecimiento urbano, con características propias de la zona en otras ciudades de nuestra región de Puno y en el Perú.
- Se recomienda utilizar imágenes satelitales con mayor serie histórica como LANDSAT, para ver el crecimiento progresivo de cada año, esto con el fin de complementar y ampliar la labor emprendida en esta tesis, se sugiere a continuación líneas de investigación complementarias y otros temas que deben ser abordados, utilizar otras variables y funciones de crecimiento urbano como tipo de suelo y tipo de uso de suelo.
- Se recomienda a la población de la ciudad de Puno tomar en consideración la simulación proporcionada para adquirir propiedades en las zonas de expansión con mayor probabilidad de urbanizarse.
- Se recomienda a las autoridades utilizar los resultados de la simulación de expansión urbana al año 2065 para la elaboración del plan de desarrollo urbano de la ciudad de Puno, esto con el fin de tomar mejores decisiones en las inversiones en infraestructura y equipamiento urbano tales como, extensión de vías públicas, redes de agua y alcantarillado, instituciones educativas y puestos de salud.



VII. REFERENCIAS

- Aguilera, B. F. (2006). Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en automatismos celulares. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 32.
- Aguilera, B. F., & Valenzuela, M. L. (2010). Simulación de escenarios futuros en la aglomeración urbana de Granada a través de modelos basados en automatismos celulares. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 30.
- Almeida, C. M. (2003). Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation. *Computers, Environment and Urban Systems*. *INPE*, 481-509.
- Arellano, P. K., & Castro, B. B. (2019). *Modelamiento del crecimiento urbano en el canto Ibarra al año 2025 para la planificación del uso y ocupación del suelo*. Sangolí: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- BancoMundial. (01 de 04 de 2019). Desarrollo urbano. Ciudad de Washington, Washington, EE. UU. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#1>
- Barreira, Aguilera, & gomez. (2015). Propuesta de validación parcial de modelos de simulación de crecimiento urbano basados en automatismos celulares mediante análisis de sensibilidad. *Revista de ciencias espaciales*, 22.
- Berreira, G. P., Gomez, D. M., & Aguilera, B. F. (2015). Simulación del crecimiento urbano y modelos basados en autómatos celulares: el uso de parcelas catastrales vectoriales a partir de la teoría de grafos. *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*, 10.
- Bonham-Carter, F. G. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Ontario - Canada.
- Bravo, M. N. (2017). *TELEDETECCIÓN ESPACIAL LANDSAT, SENTINEL2, ASTER L1T y MODIS*. Tingo María - Perú : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA.



- CARPIO, P. J., & LAMÍQUIZ, D. P. (2014). *PROXIMIDAD DEL COMERCIO E INDICADORES DE ACCESIBILIDAD: APLICACIÓN A LA PLANIFICACIÓN Y REGULACIÓN EN EL MARCO NORMATIVO ACTUAL*. Madrid - España.: Universidad Politécnica de Madrid.
- Carrillo, A. E., & Choquehuanca, V. E. (2019). *Análisis multitemporal del crecimiento urbano de la ciudad de puno mediante imágenes satelitales, entre los años 1980 – 2017*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Cartwright, N. (1983). *How the Laws of Physics Lie*. New York: Oxford University Press.
- Cifuentes, R. P., & Londoño, L. J. (2010). Analisis del crecimiento urbano:Una aproximación al estudio de los factores de crecimiento de la ciudad de Manizales como aporte a la planificación. *Revista gestion y ambiente*, 14.
- Conway, J. H. (1970). *The Game of Life*.
- Coss, R. B. (2005). *SIMULACION*. Editorial Limusa.
- Diaz, P. J. (2015). *Ciudades, autómatas celulares y sistemas complejos: Evaluación de un modelo dinámico de cambio de usos de suelo urbano de Madrid*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- GRP, G. R. (2015). Sub modelo de Aptitud Urbana e Industrial. *Implementacion del Proceso del Ordenamiento Territorial de la Region de Puno*, 62.
- Hagen, A. (2003). *Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical*. International Journal of Geographical Information Science,.
- Jaccard, J. (2001). *Interaction Effects in Logistic Regression*. New York: State University of New York.
- Jaramillo, D. (2016). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA EXPANSIÓN URBANA DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA. MANIZALES: UNIVERSIDAD DE MANIZALES*.
- Leon, C. P. (2015). *Generacion de un modelo predictivo de crecimiento urbano mediante la tecnica de Automatas Celulares. Apliacacion a la zona conformada por las parroquias: Conocoto, Guangopolo, Alangasi, La*



Merced y San Rafael. Sangolqui - Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Linares, S., & Picone, N. (2018). Modelización de la expansión urbana y su impacto en el paisaje natural mediante Sistemas de Información Geográfica y Automatas Celulares. Caso de estudio: Tandil, Argentina. *Revista de estudios ambientales*, 25.

MINAG. (2002). *Reglamento de Clasificación de Tierras*. Lima.

Montoya, J. B. (2014). Modelos predictivos urbanos basados en Automatas Celulares. *Investigacion, Proyecto y Ciudad*, 10.

MPP, M. P. (2012-2022). *Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Puno*. Puno.

Obregón, B. S., & Ángeles, E. M. (2018). *Diseño metodológico para estimar indicadores de accesibilidad en entornos periféricos de una zona metropolitana*. Mexico: Universidad Autónoma de Querétaro - Mexico.

Ocampo, H. A. (2017). *Crecimiento urbano y planificación territorial en la ciudad de Cali evolucion 1990 - 2010*. Colombia: Universidad de Barcelona.

Padilla, O., & Pérez, P. (2015). Utilización de autómatas celulares como técnica de modelamiento espacial para determinación el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal. *REVISTA CIENCIAS ESPACIALES*, 17.

Pascual, R. V. (2010). Simulación de Modelos de crecimiento urbano, métodos de comparación con los mapas reales. *Tecnologías de la información geográfica*, 14.

Polidori, Saravia, Peres, Toralles, & Tomiello. (2015). Los bordes de la ciudad y la simulación del crecimiento urbano con automatas celulares. *Revista Ciencias Espaciales*, 14.

Reyes, G. D. (2011). Descripción y Aplicaciones de los Automatas Celulares. *Universidad Autónoma de Puebla*, 26.

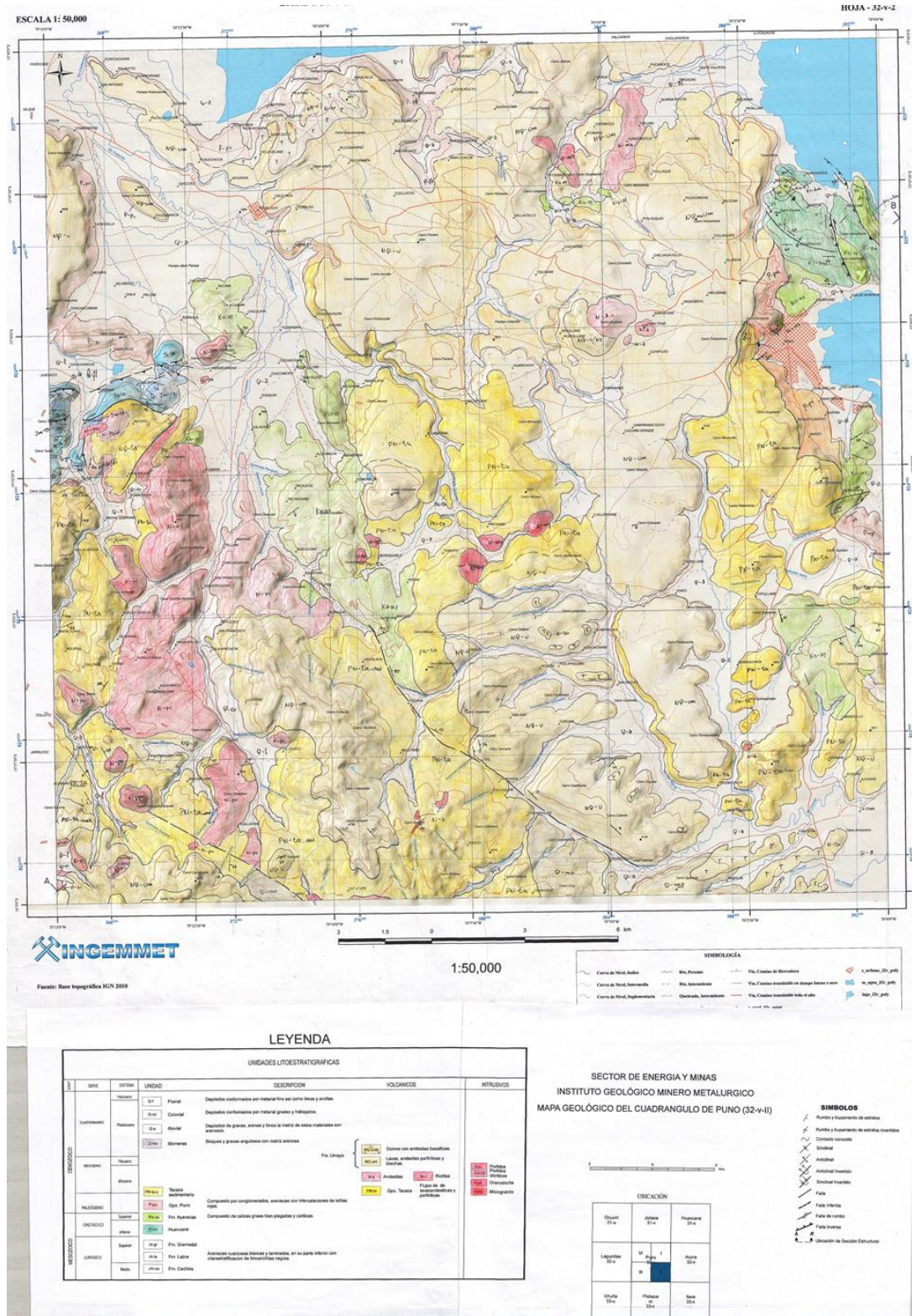
Soares-Filho, B. S. (2009). *Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO*. Universidade Federal de Minas Gerais.



- Ticona, S. E. (2015). *Modelo de crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de el Alto usando Automatas Celulares*. La Paz - Bolivia: Universidad Mayor de San Andres.
- TUESTA RODRÍGUEZ, E. (2017). *PROSPECTIVA DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL DISTRITO DE IBERIA, TAHUAMANU – MADRE DE DIOS, PERIODO 2004-2030*. Madre de Dios: UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS.
- Turpo Cayo, E. Y. (2018). *MODELAGEM DE MUDANÇAS ESPAÇO-TEMPORAIS DE AMBIENTES GLACIAIS DOS ANDES DO SUL- PERU*. Feira de Santana-Bahia: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA.
- Wolfram, S. (1986). *Theory and Application of Cellular Automata*, World Scientific. Singapur.

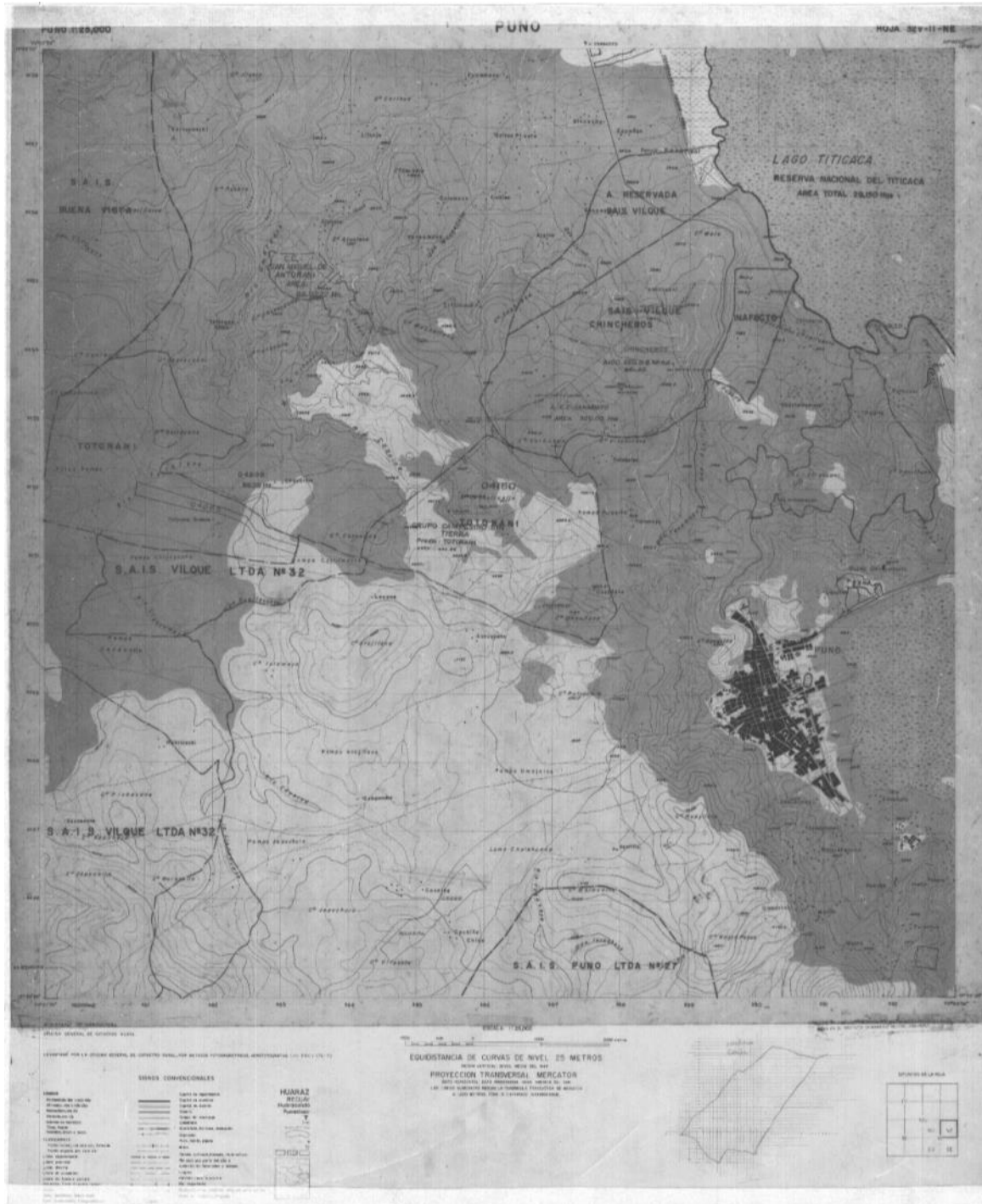
ANEXOS

Mapa Geológico (HOJA 32-V-II)



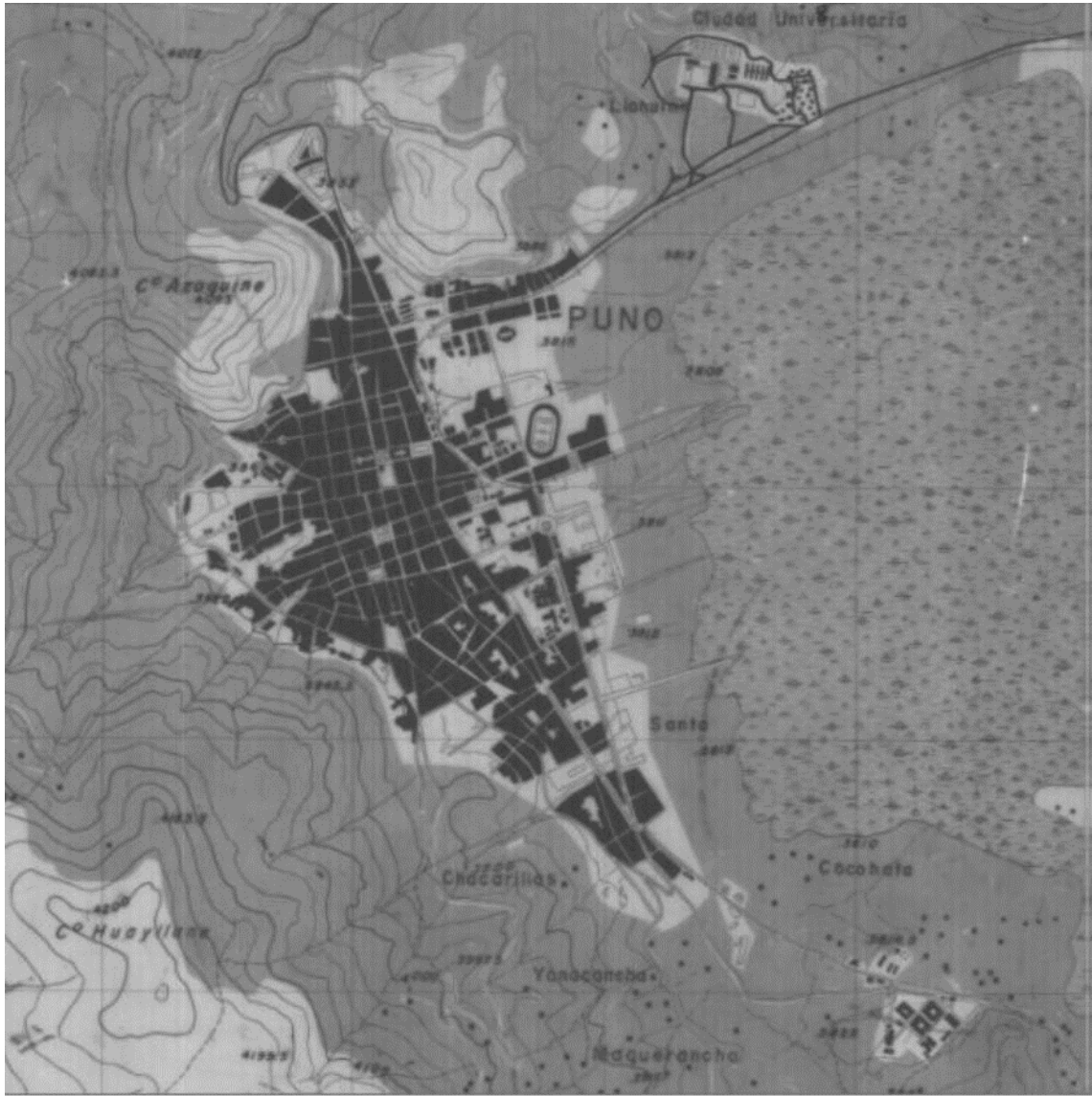
Fuente: GEOCATMIN en <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

FOTOGRAMETRIA DE LA CIUDAD DE PUNO DEL AÑO 1974

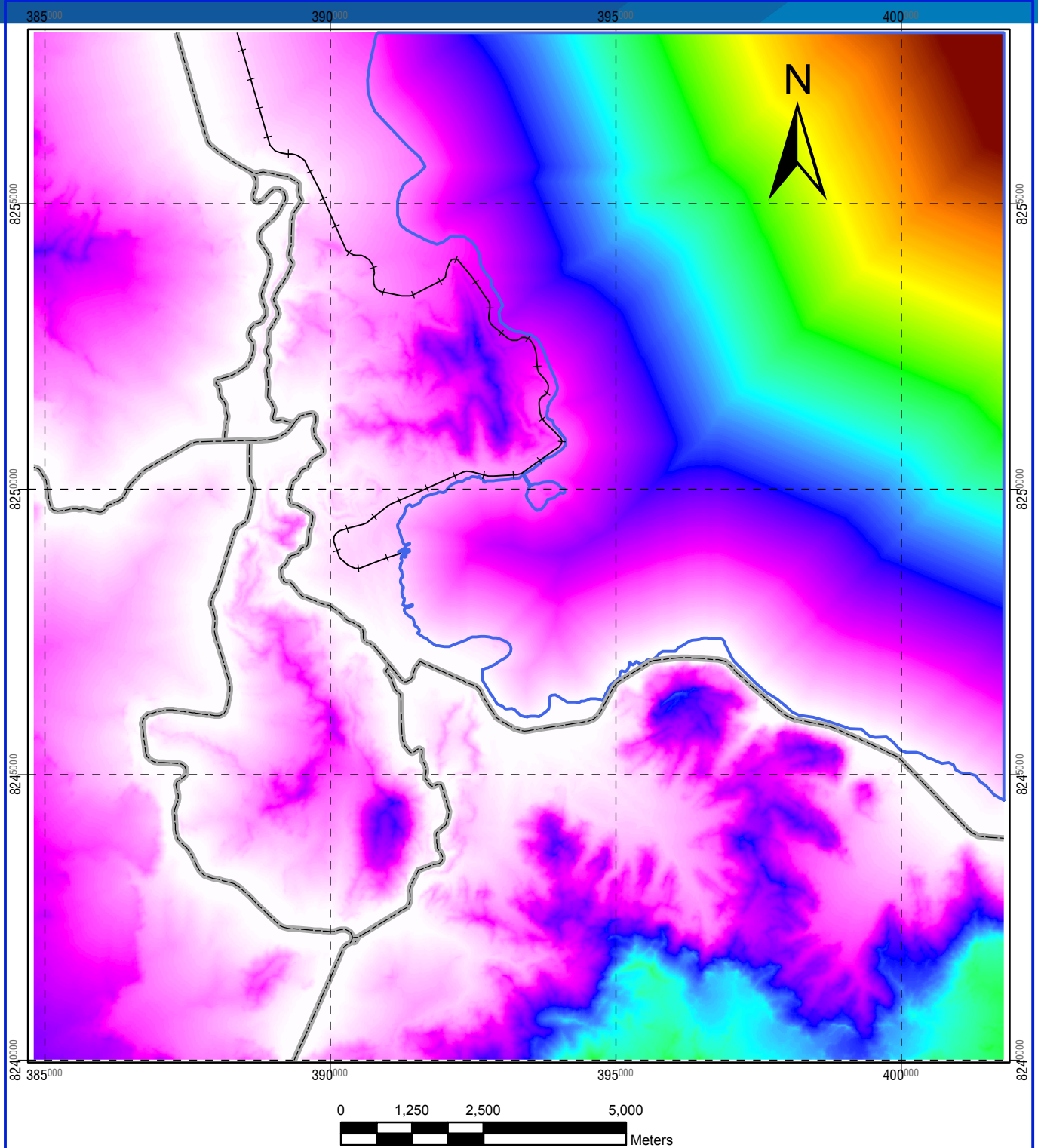


Fuente: Ministerio de Agricultura

FOTOGRAMETRIA DE LA CIUDAD DE PUNO DEL AÑO 1974



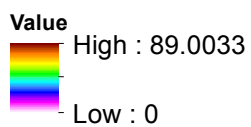
Con un zoom acercado para visualizarlo de mejor manera



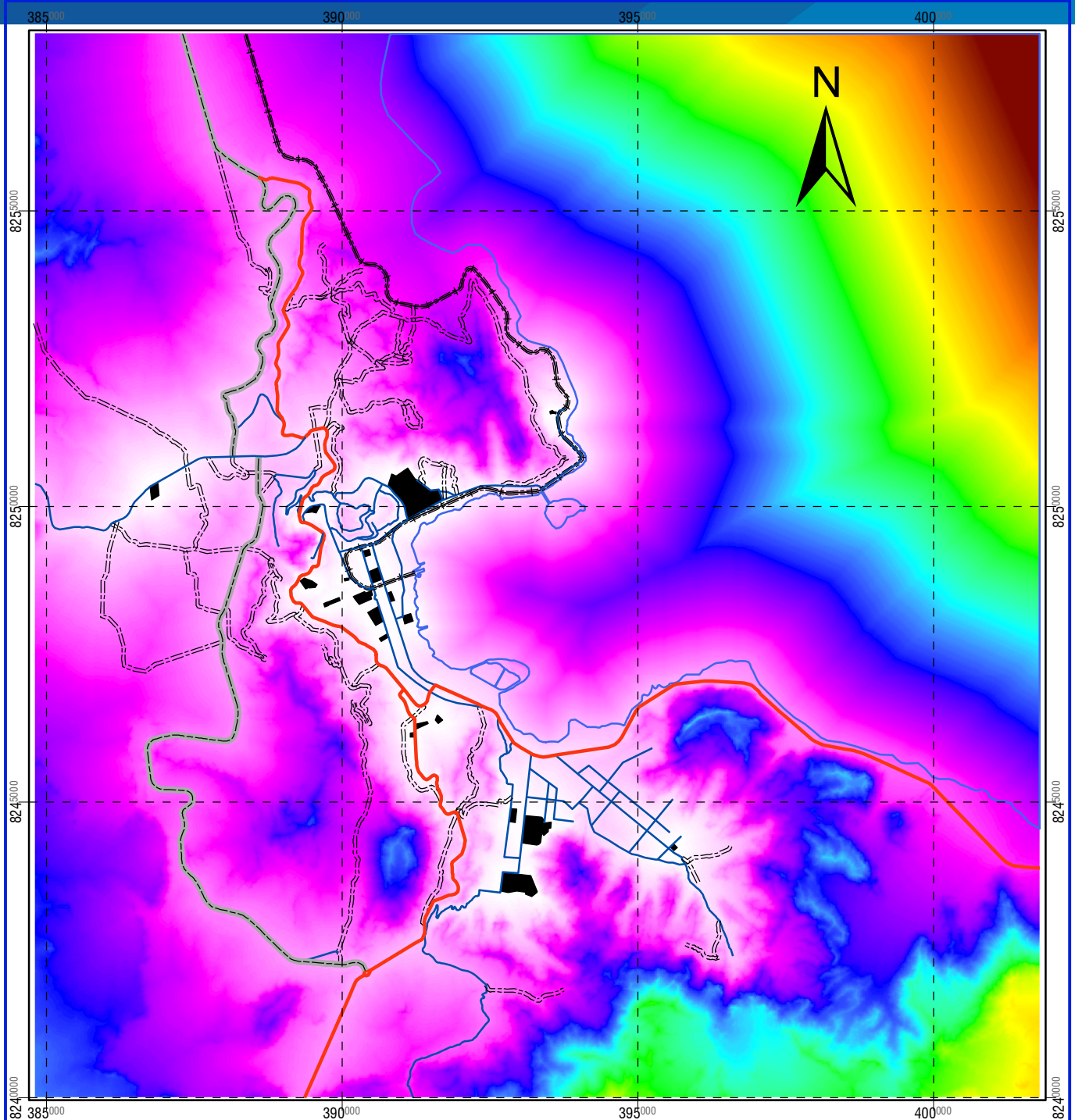
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- + FERROCARRIL
- LAGO

ACCES_VIASP.tif



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA: ACCESIBILIDAD A VIAS PRINCIPALES	LAMINA:
ELABORADO POR: Rosmery Anahua Apomayta	DATUM: WGS - 84
FECHA: JULIO 2020	ESCALA: 1:100,000
01	



LEYENDA

COSTE

- 6
- 8
- 15
- 30

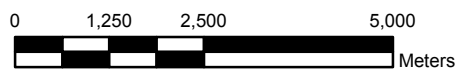
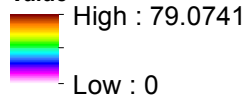
— FERROCARRIL

□ LAGO

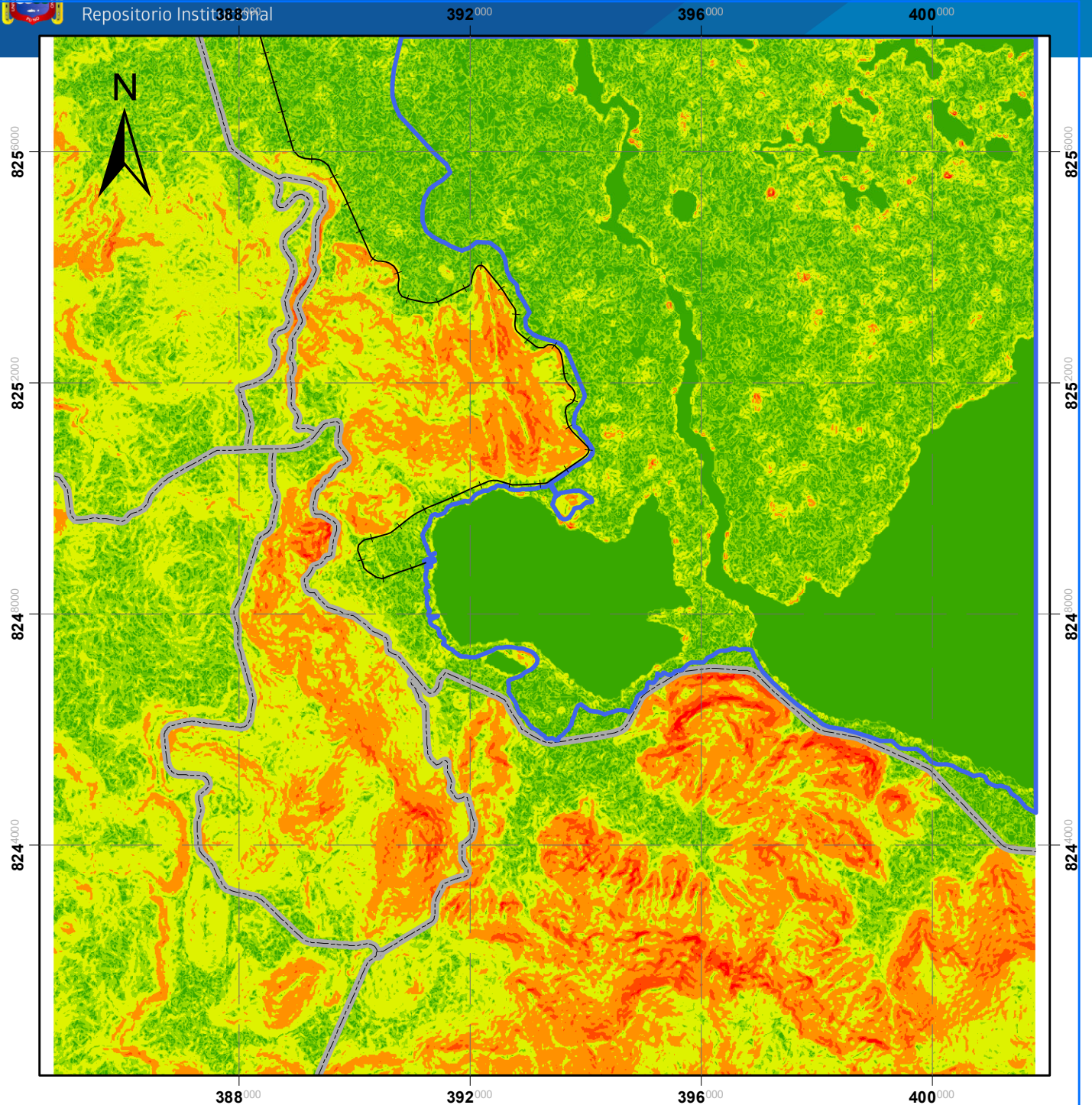
■ SERVICIOS_IMPORTANTES

ACCES_SERVICIOS

Value



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	ACCESIBILIDAD A SERVICIOS
ELABORADO POR: Rosmery Anahua Apomayta	DATUM: WGS - 84
FECHA: JULIO 2020	ESCALA: 1:100,000
LAMINA: 02	

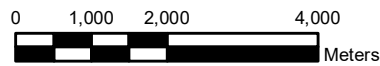


LEYENDA

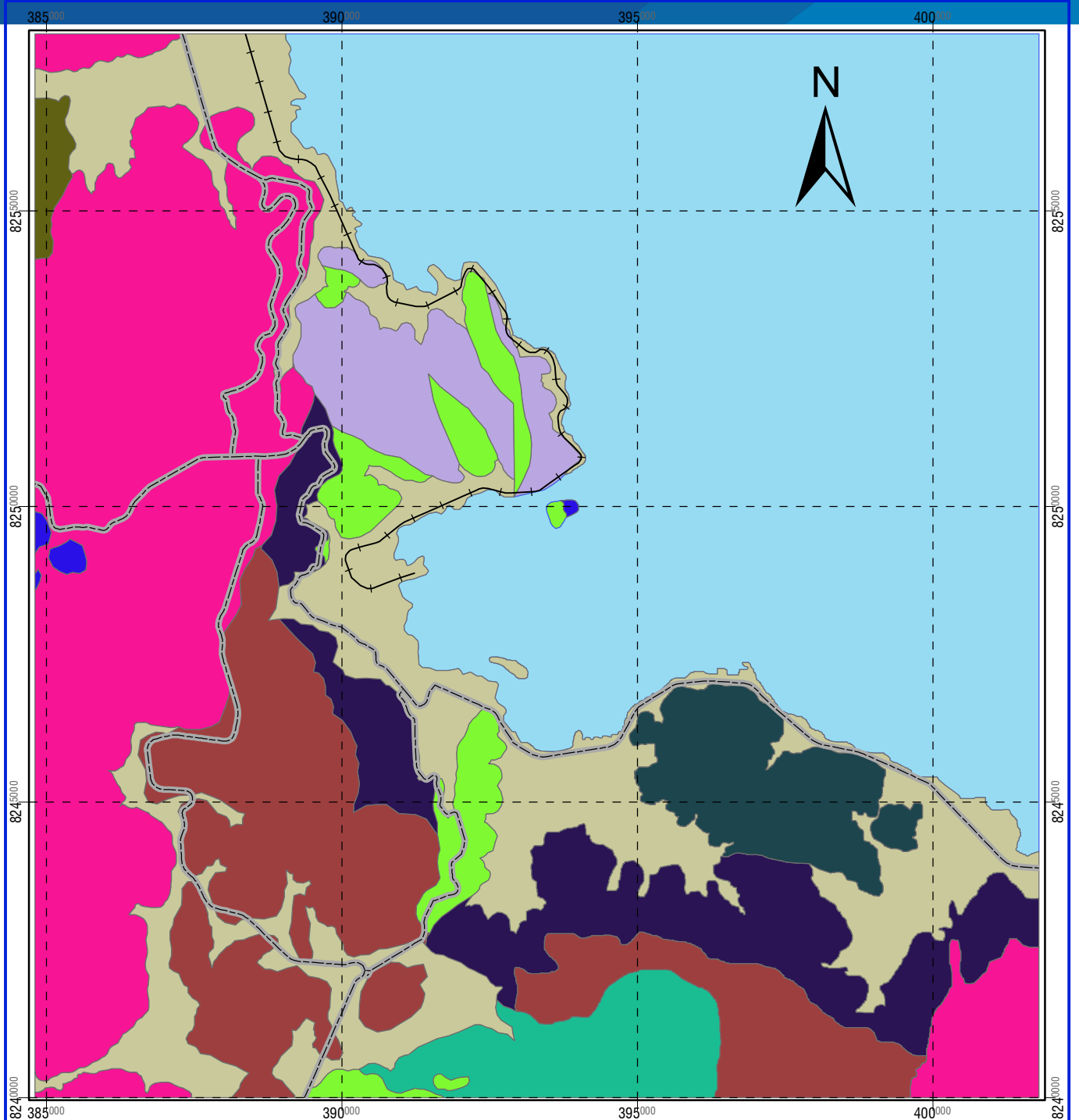
- FERROCARRIL
- VIAS_PRINCIPALES
- LAGO2019

PENDIENTE

- 15%
- 2%
- 25%
- 4%
- 50%
- 8%
- >75%



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINAMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTOMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	PENDIENTES
ELABORADO POR: Rosmary Anahua Apomayta	DATUM: WGS - 84
FECHA: JULIO 2020	ESCALA: 1:100,000
03	

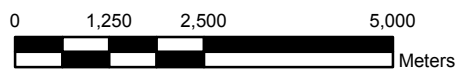


LEYENDA

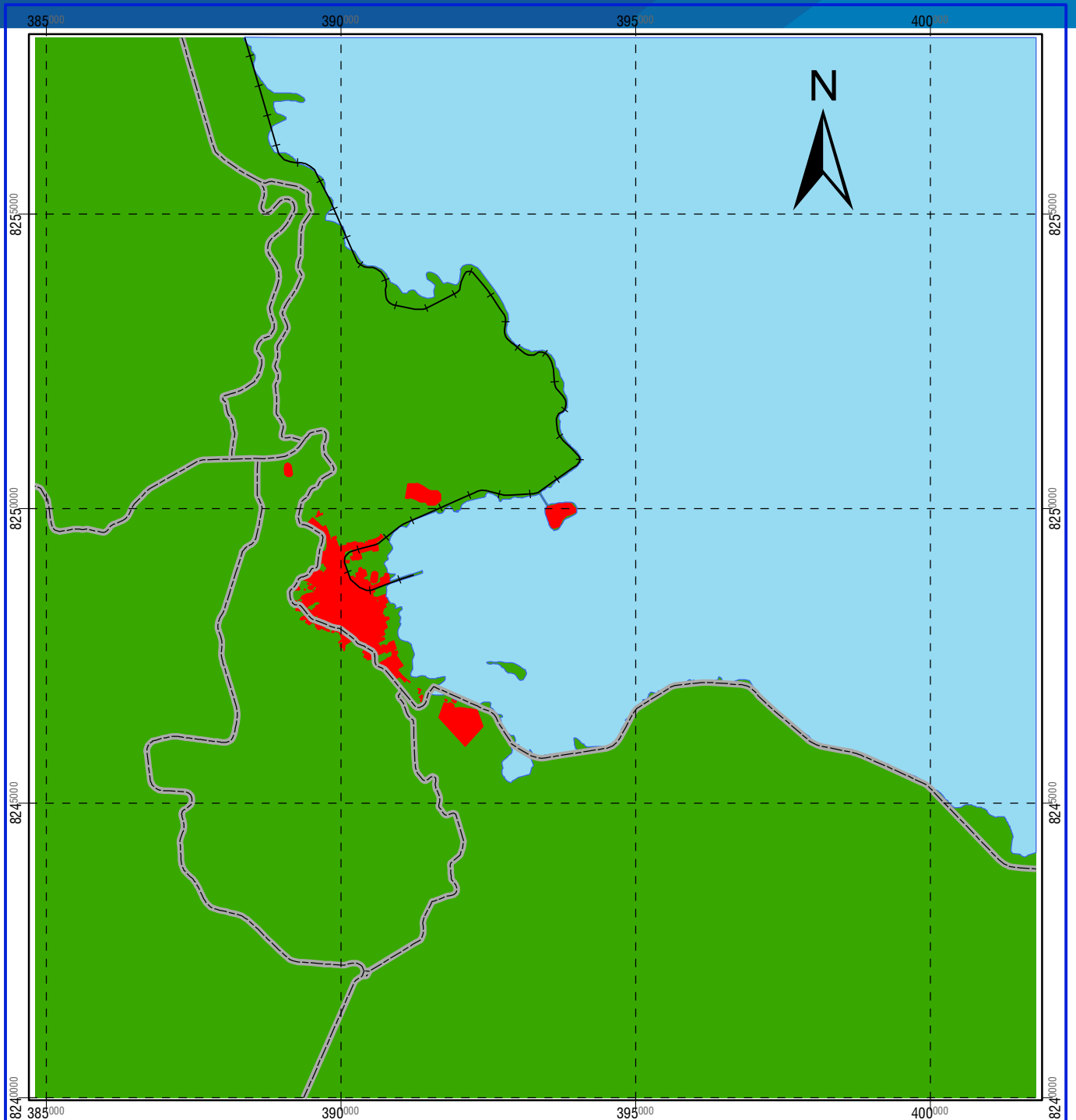
- VIAS_PRINCIPALES
- + FERROCARRIL

grupo

- Ki-hn
- Kis-ay
- LAGO
- N-a
- N-mz
- Nq-um
- P-pu
- PN-ta
- PN-ta-s
- Q-a
- Q-pu

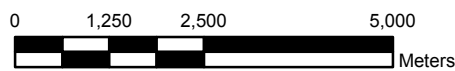


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	LITOESTRATIGRAFÍA
ELABORADO POR: Rosmery Anahua Apomayta	DATUM: WGS - 84
FECHA: JULIO 2020	ESCALA: 1:100,000
04	

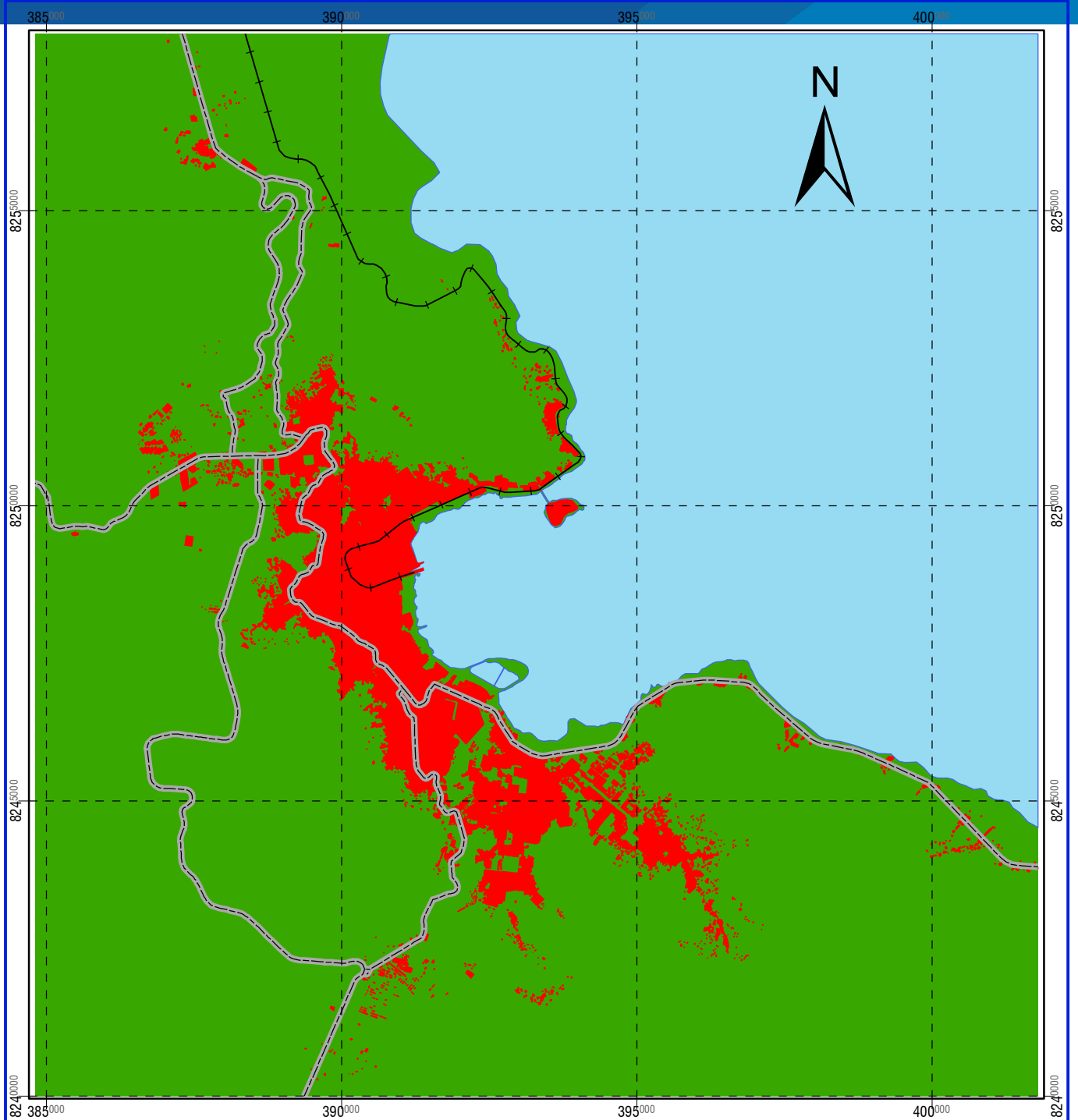


LEYENDA


-  VIAS_PRINCIPALES
-  FERROCARRIL
-  LAGO_1974
-  AU_1974
-  AREA_NO_URBANO

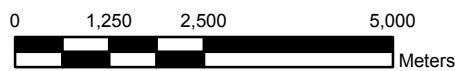


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA 1974
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
05	

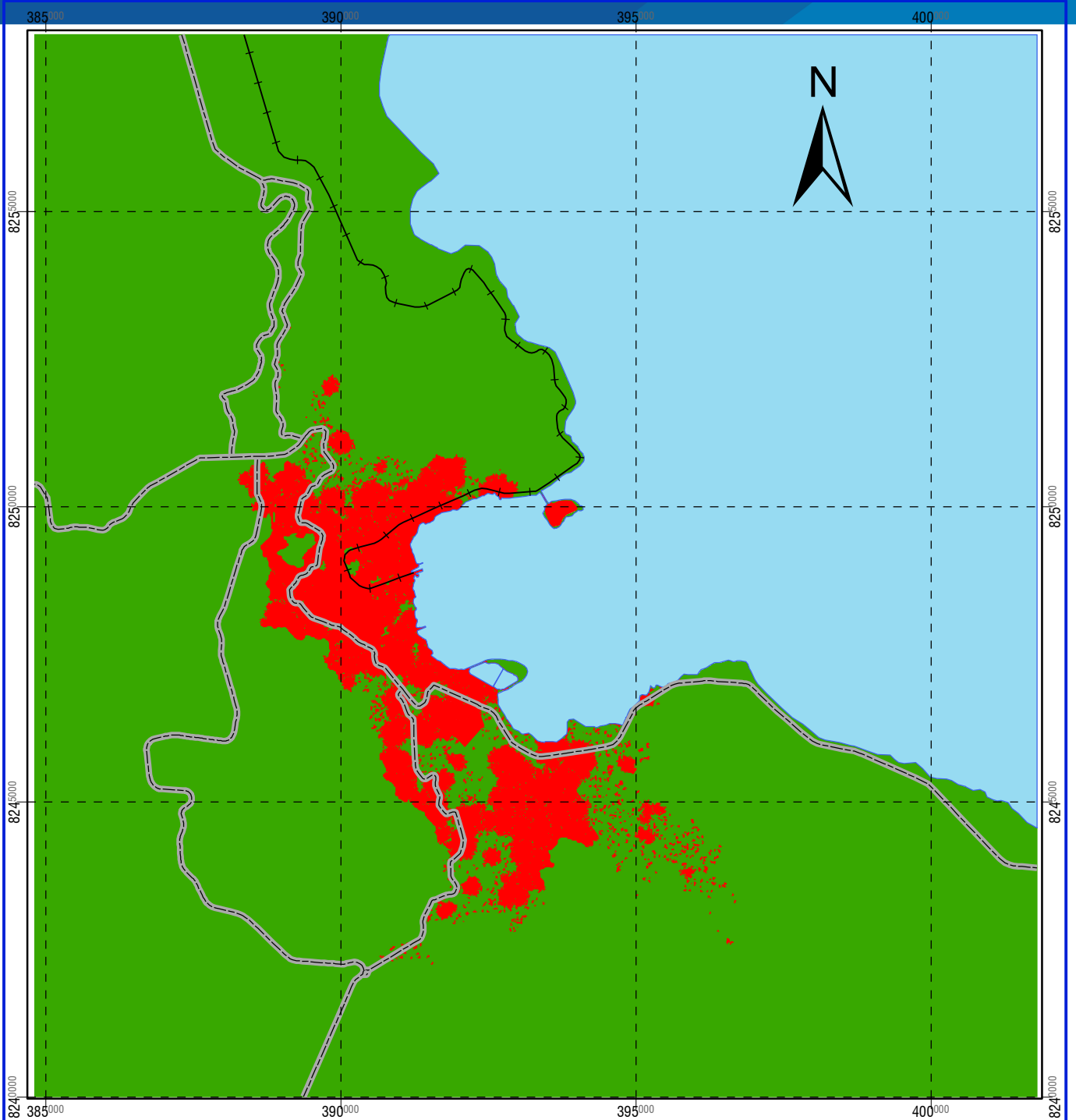


LEYENDA

-  VIAS_PRINCIPALES
-  FERROCARRIL
-  AU_2019
-  LAGO
-  AREA_NO_URBANO

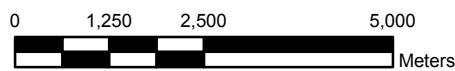


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA 2019
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
06	

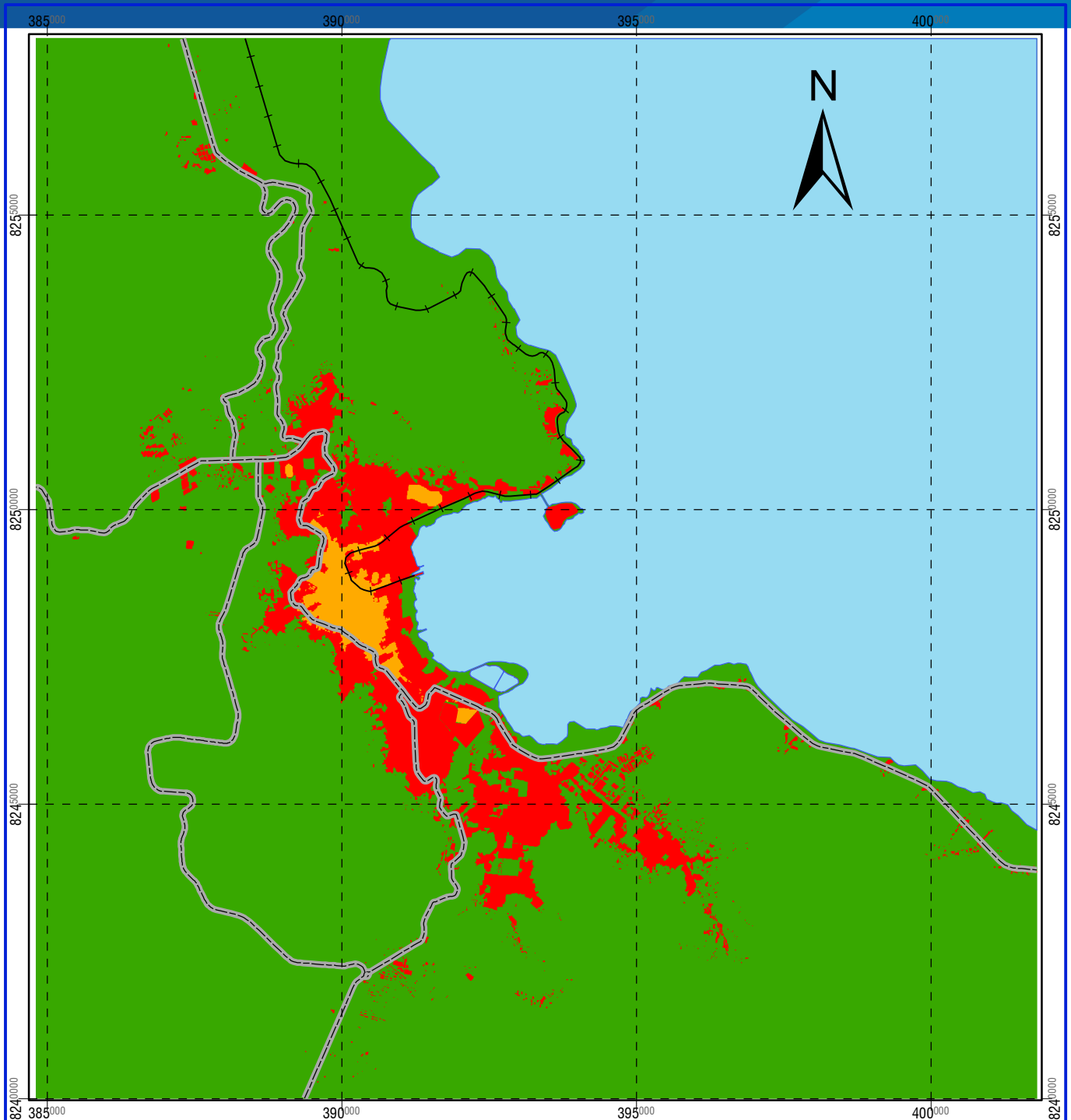


LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL
- AU_2019_SIMULADO
- AREA_NO_URBANO
- LAGO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA 2019 SIMULADO
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
07	



LEYENDA

— VIAS_PRINCIPALES

— FERROCARRIL

LAGO

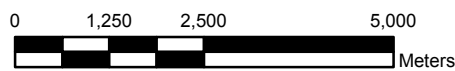
T_2_1.tif

TRANSICIÓN

No Urbano/No Urbano

Urbano/Urbano

No Urbano/Urbano



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA: TRANSICION DE AREA URBANA ENTRE LOS AÑOS 2019-1974	LAMINA: 08
ELABORADO POR: Rosmery Anahua Apomayta	DATUM: WGS - 84
FECHA: JULIO 2020	ESCALA: 1:100,000



392000

396000

400000

8256000

8252000

8248000

8244000

8240000

8256000

8252000

8248000

8244000

8240000



388000

392000

396000

400000

LEYENDA

— FERROCARRIL

— VIAS_PRINCIPALES

LAGO

AREA_LIMITANTE

NAME

Expander

Patcher

AU1974.tif

NOMBRE

AREA_URBANA_1974

AREA_NO_URBANA

NOMBRE

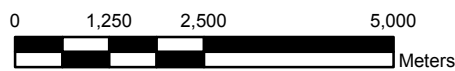
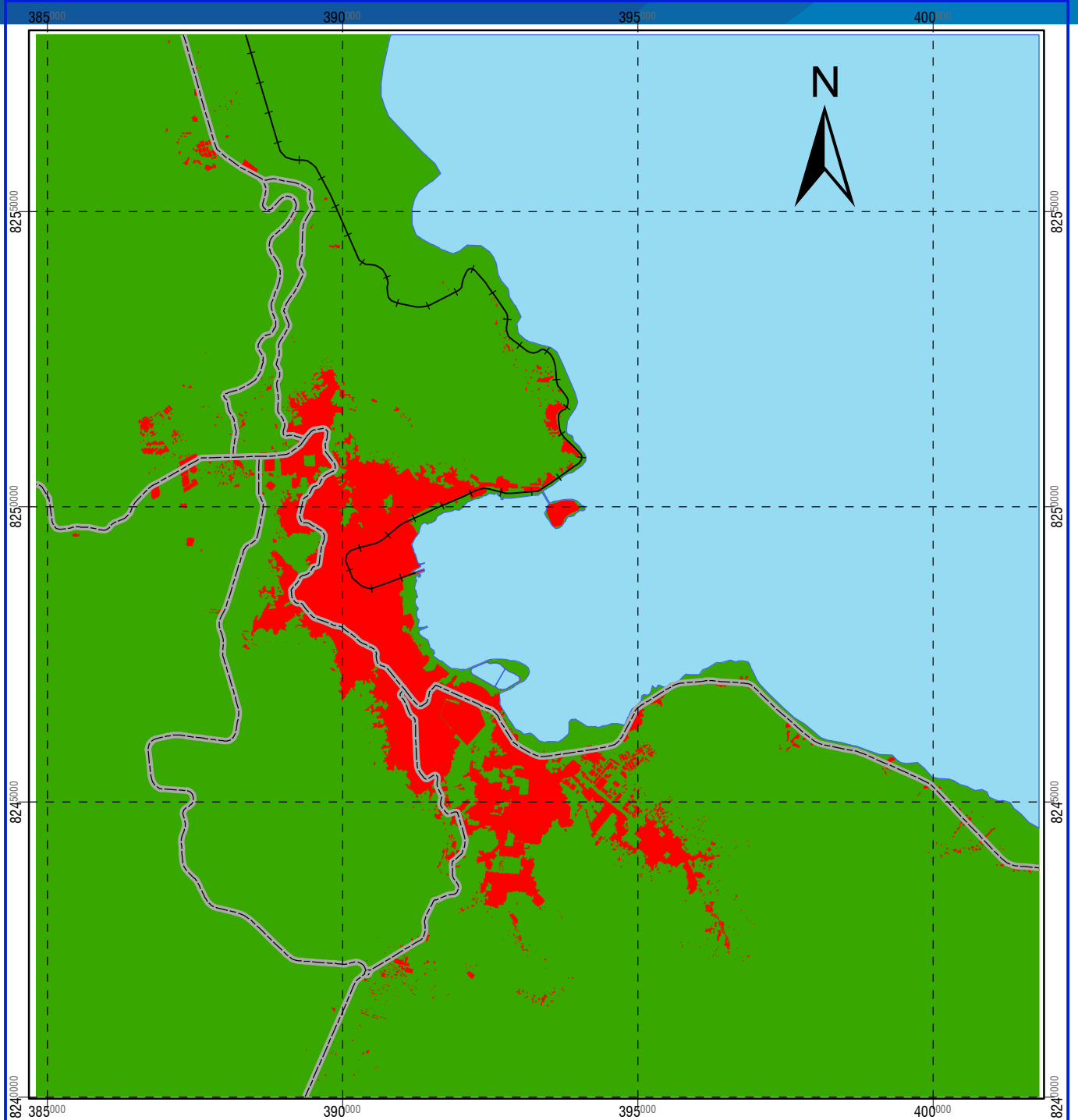
AREA_NO_URBANA

0 1,250 2,500 5,000



Meters

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	EXPANDER Y PATCHER DE AREA URBANA DEL AÑO 2019
ELABORADO POR:	ROSMEY ANAHUA APOMAYTA
FECHA:	JULIO 2020
DATUM:	WGS - 84
ESCALA:	1:100,000
LAMINA:	09



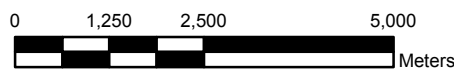
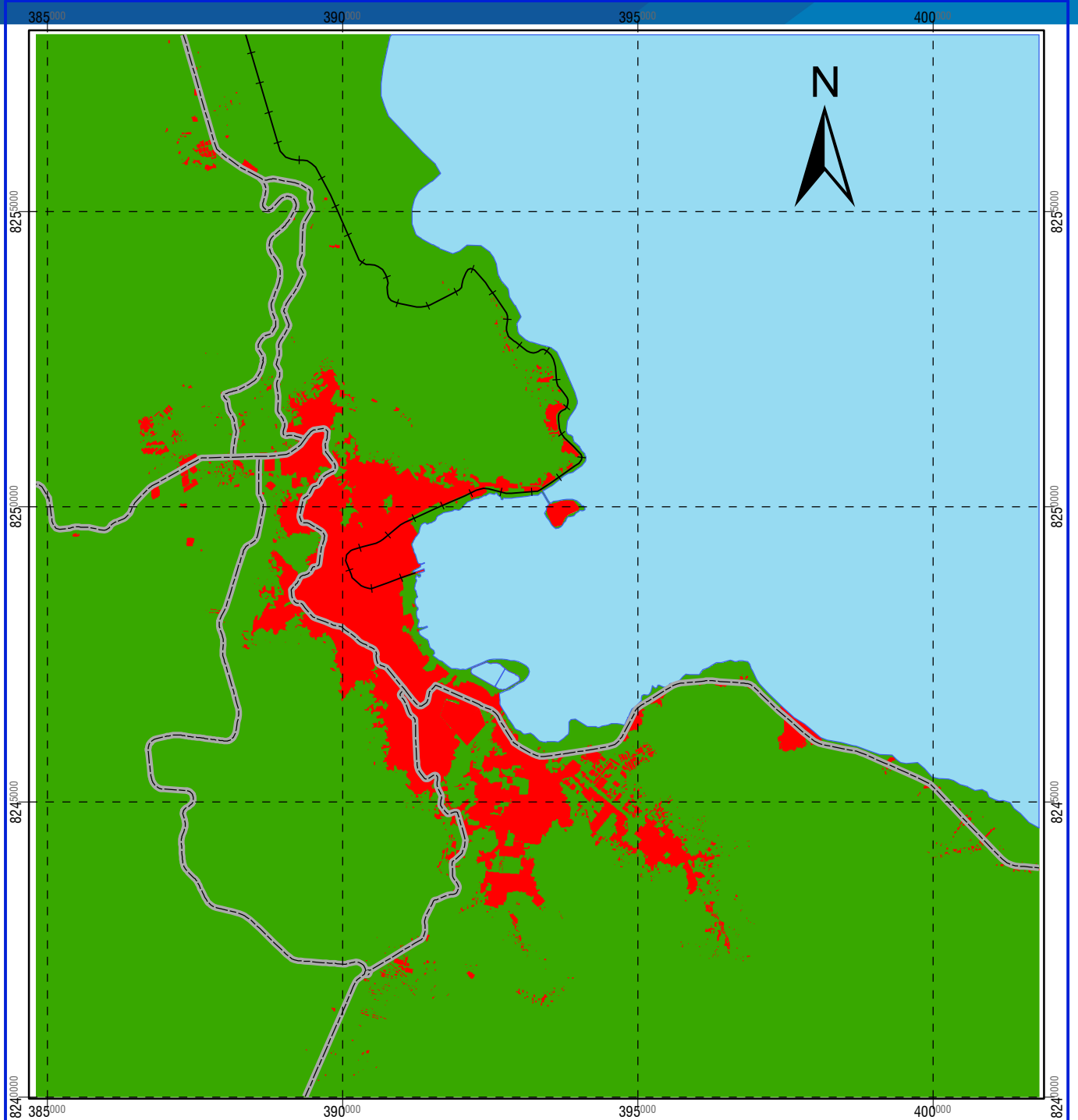
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2020

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2020
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
10	



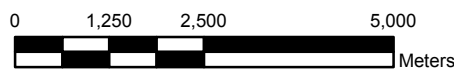
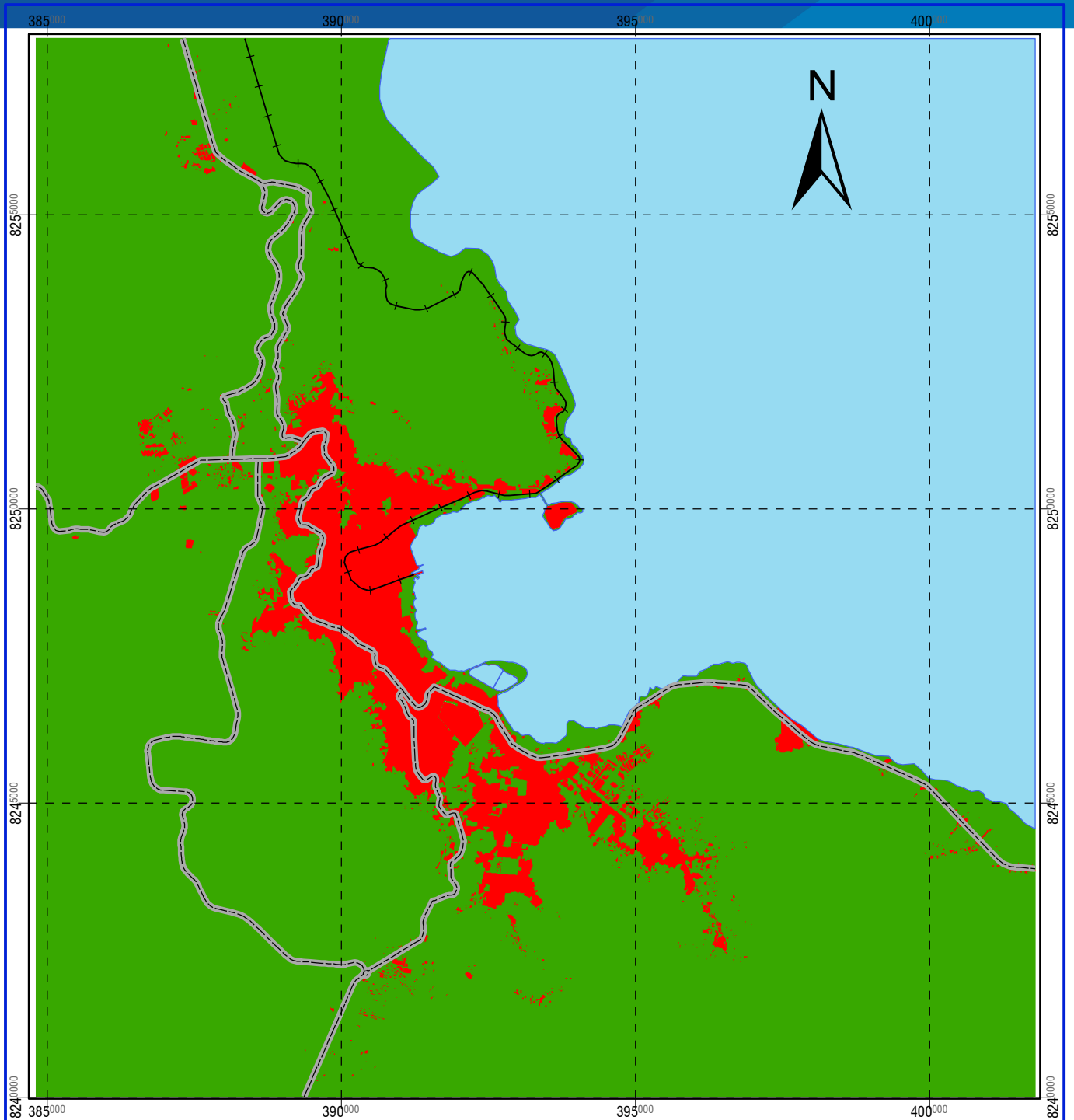
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2021

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2021
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
11	



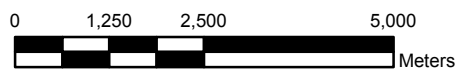
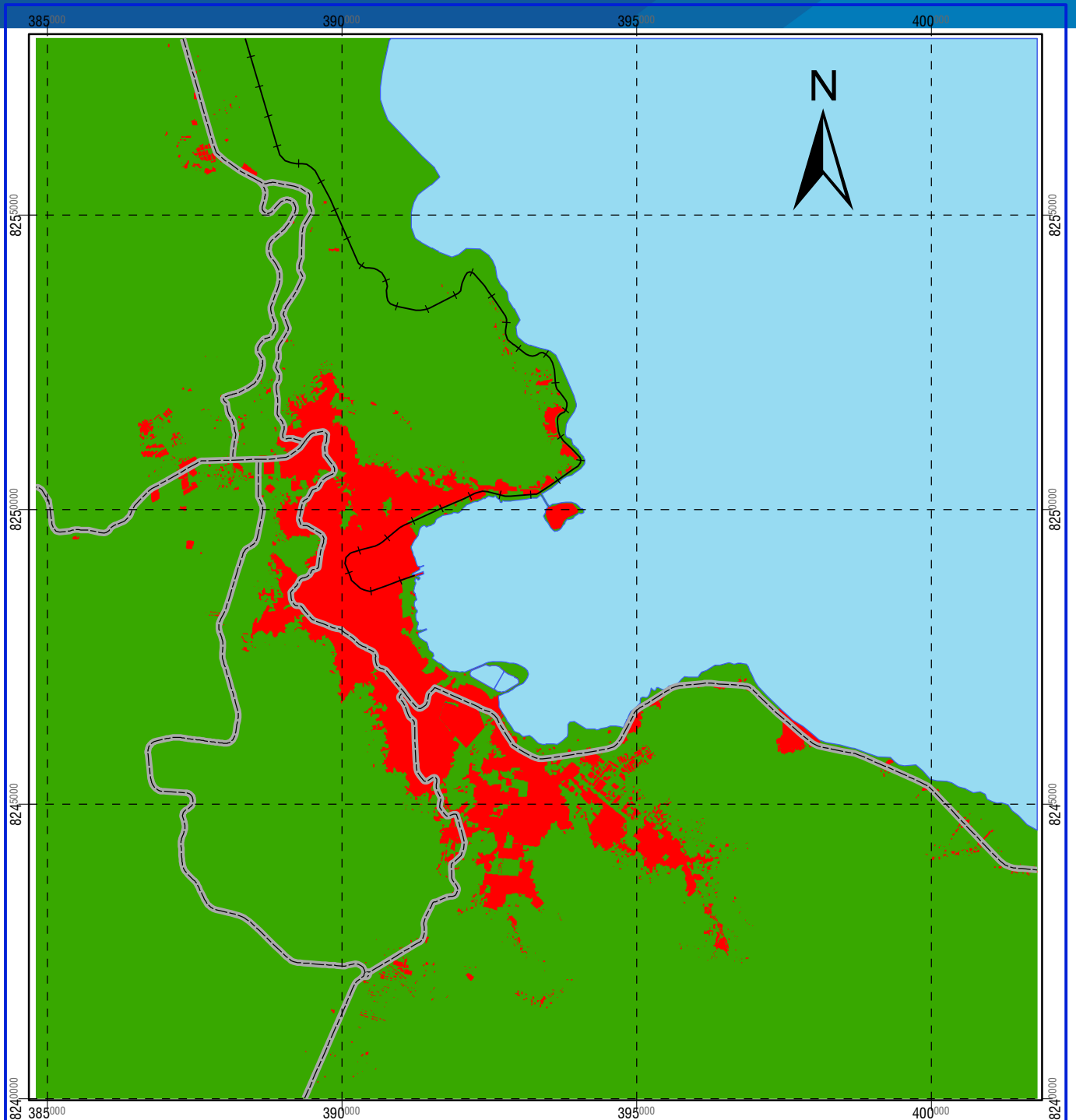
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2022

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2022
ELABORADO POR:	ROSMEY ANAHUA APOMAYTA
DATUM:	WGS - 84
FECHA:	JULIO 2020
ESCALA:	1:100,000
LAMINA:	12



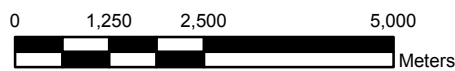
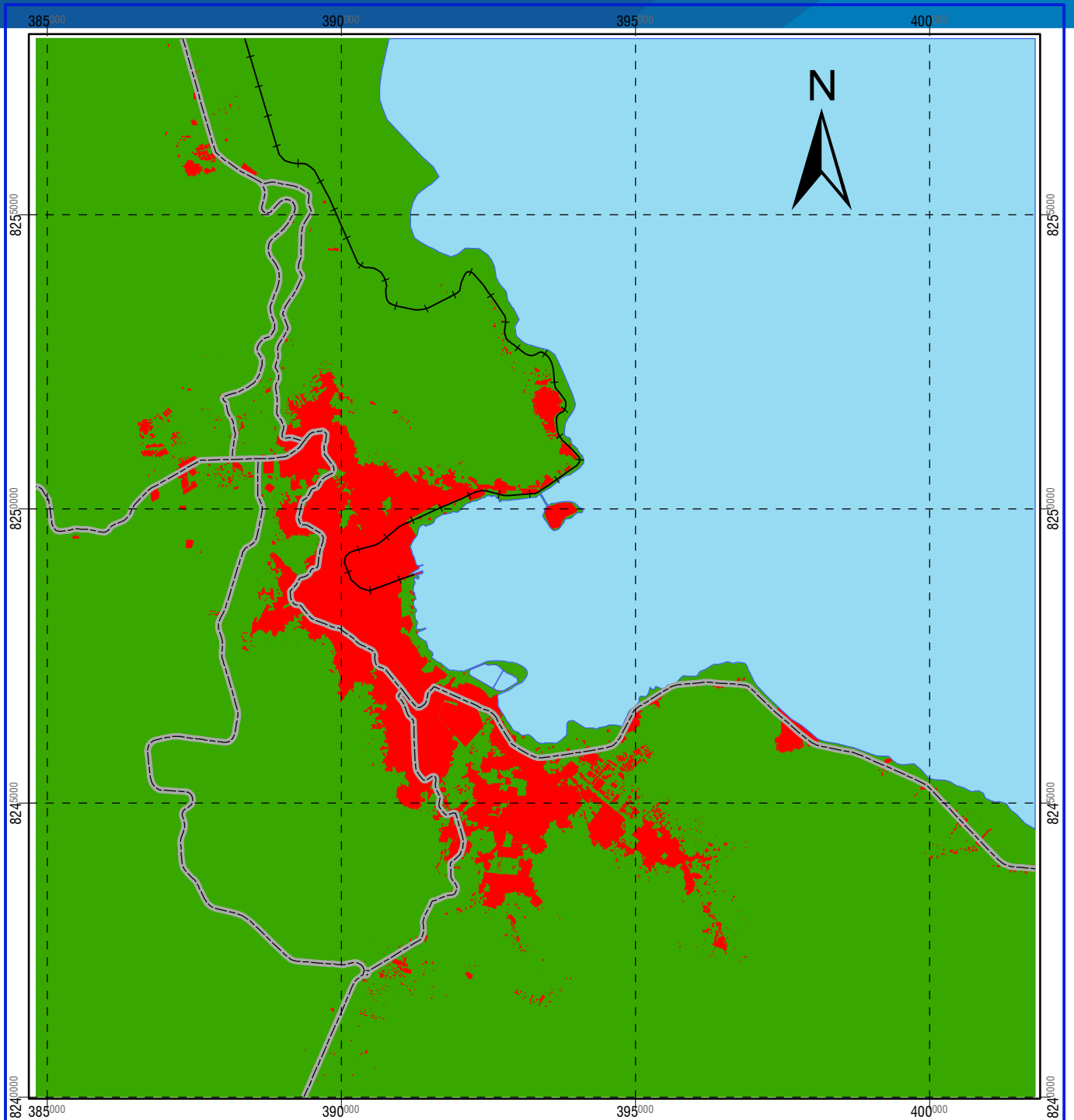
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2023

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2023
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
13	



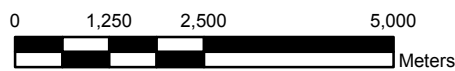
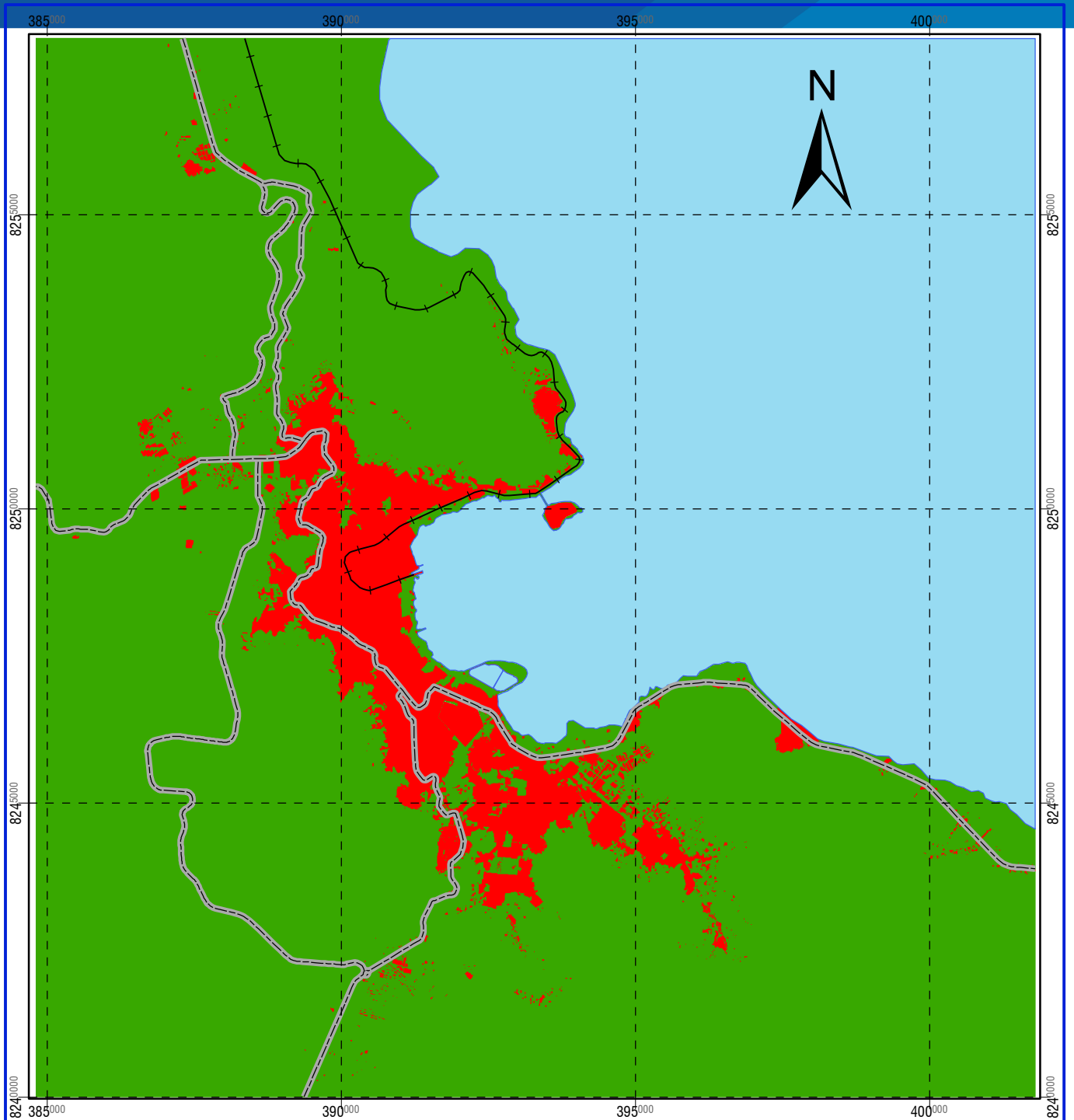
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- + FERROCARRIL

AU_2025

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2025
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
15	



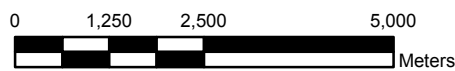
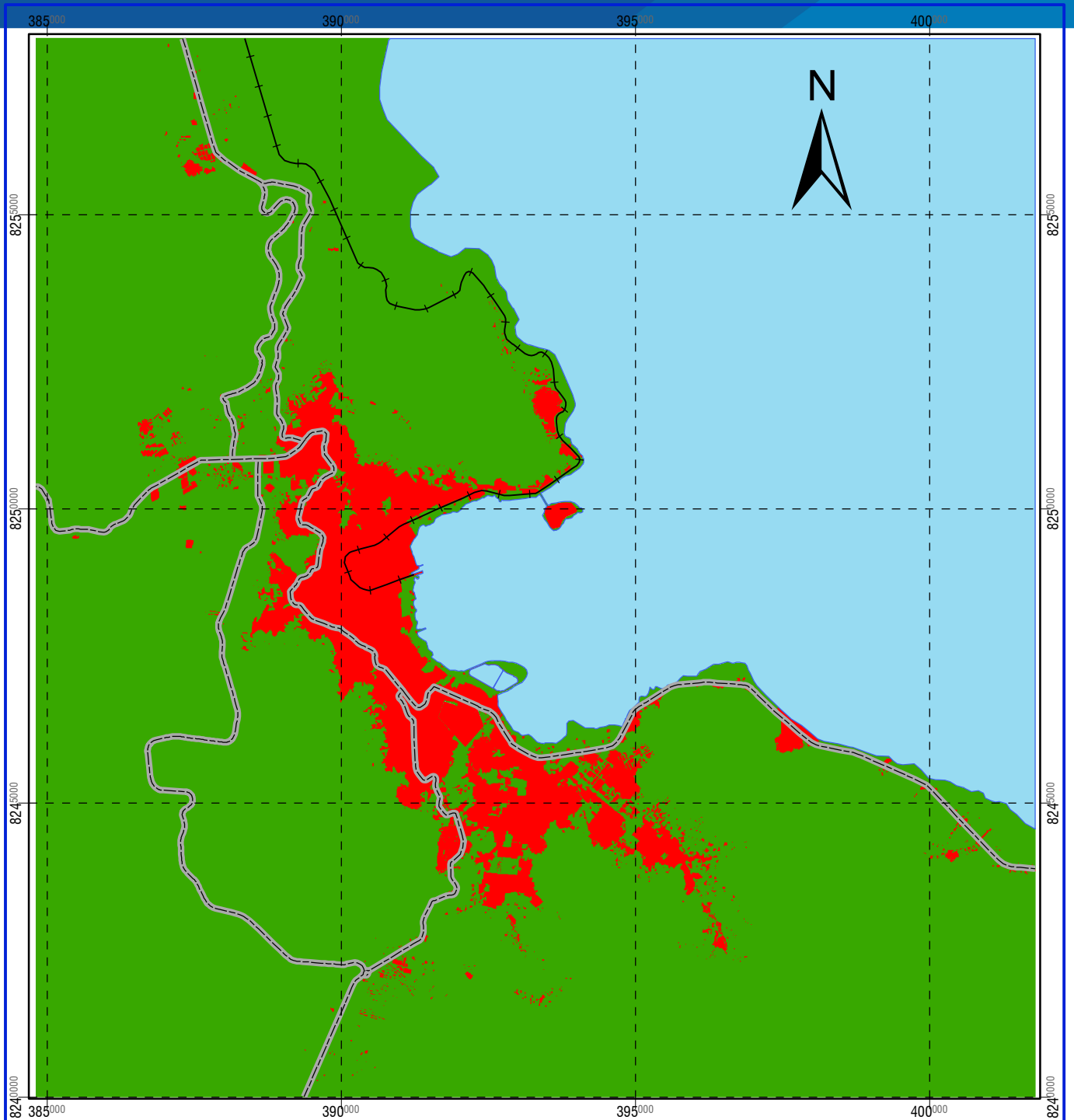
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2026

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2026
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
16	



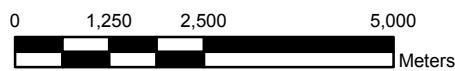
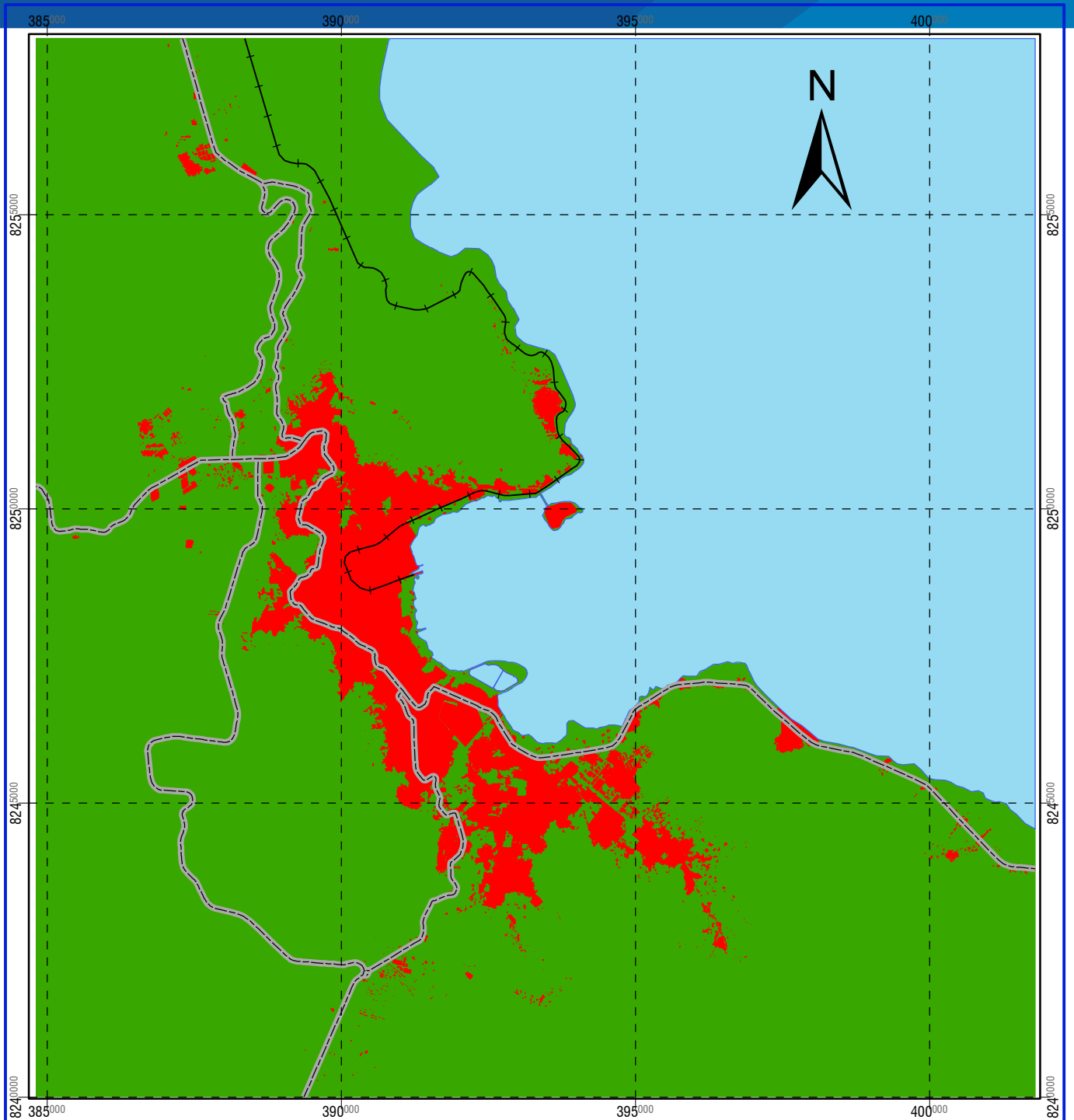
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2027

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2027
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
17	



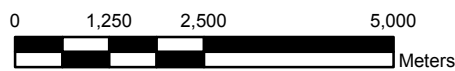
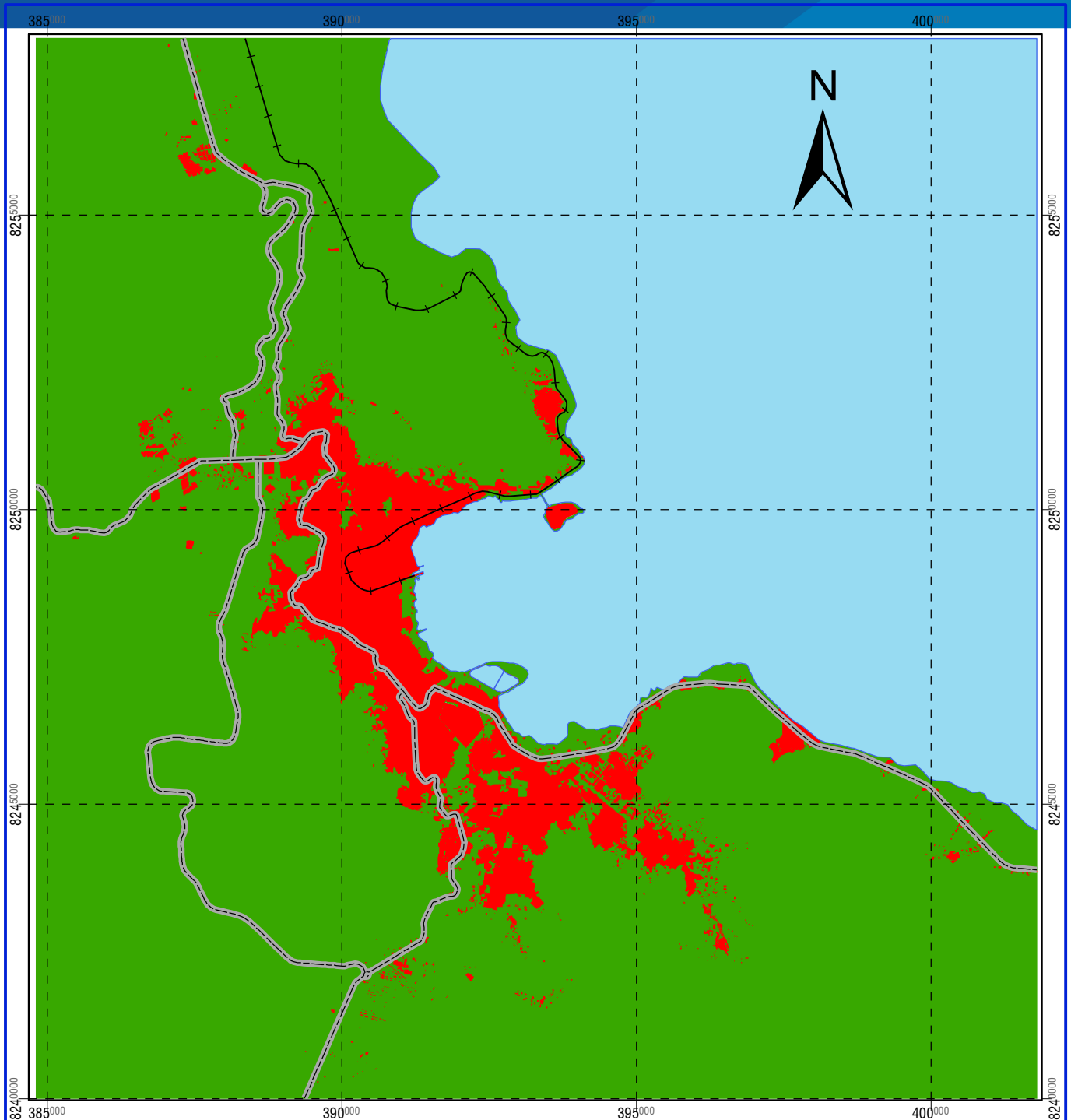
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2028

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2028
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
18	



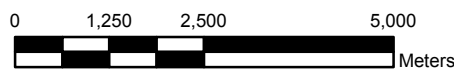
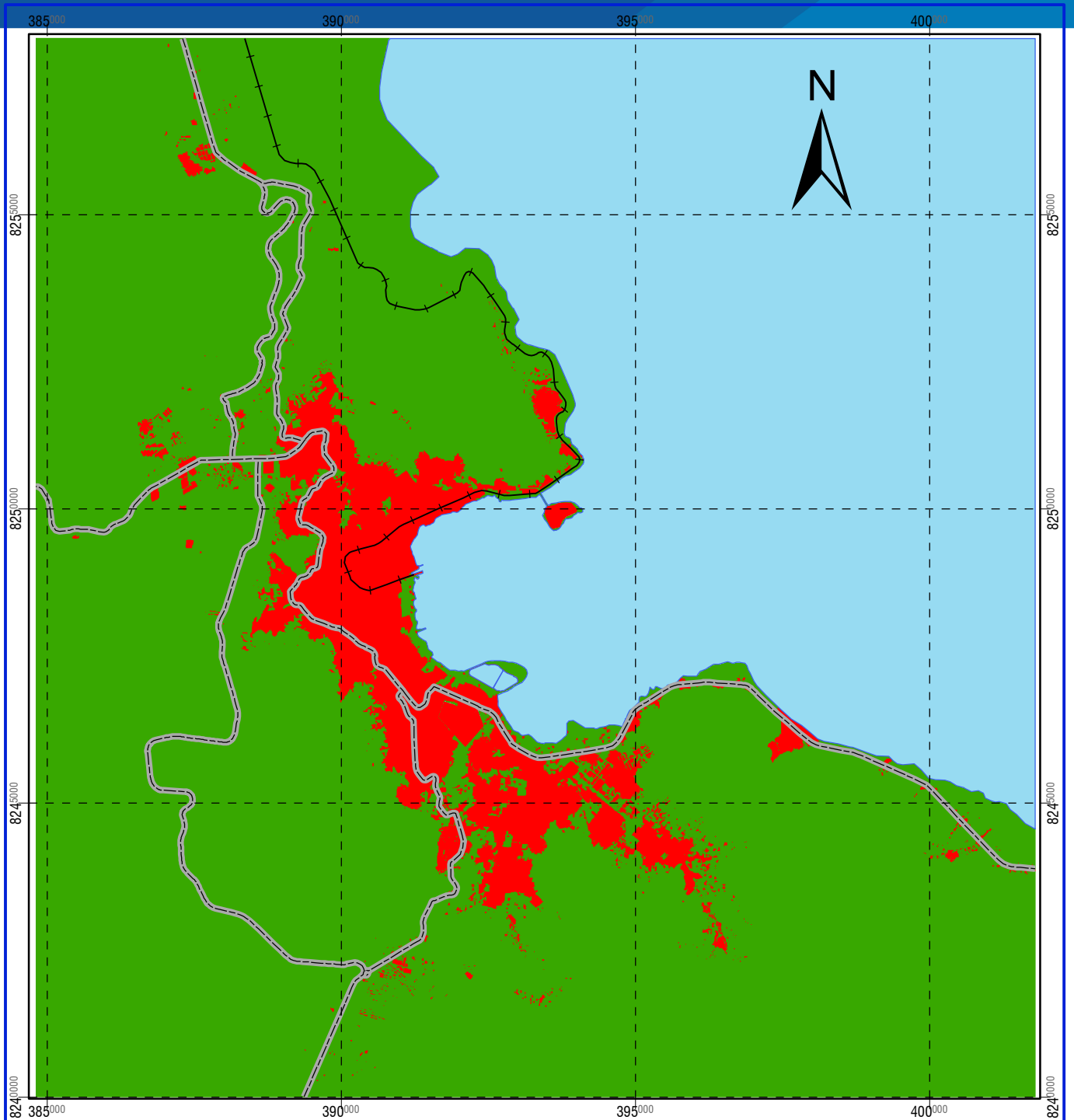
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2029

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2029
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
19	



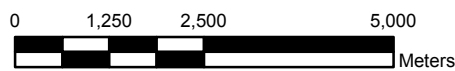
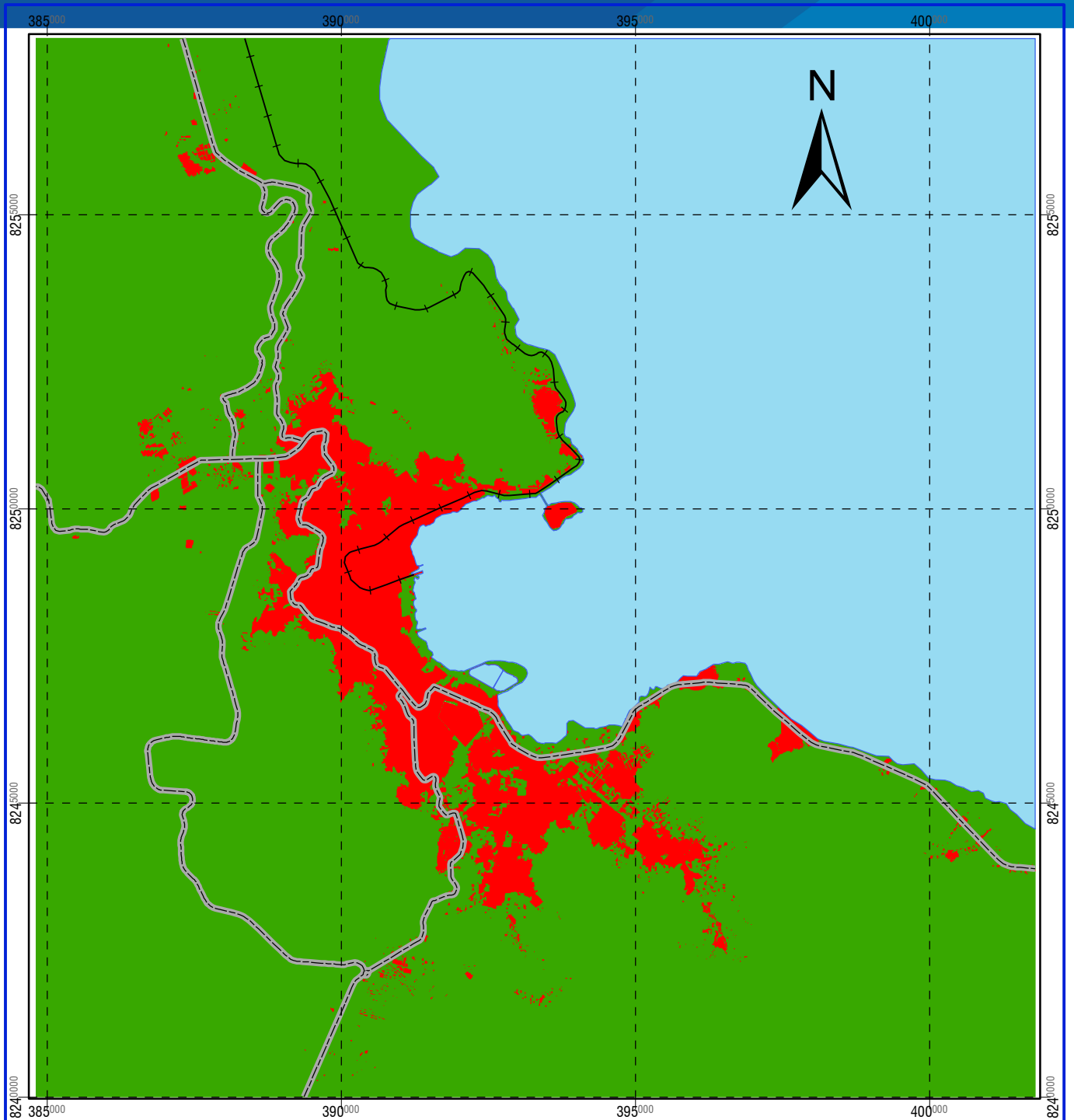
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2030

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2030
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
20	



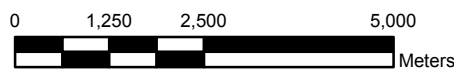
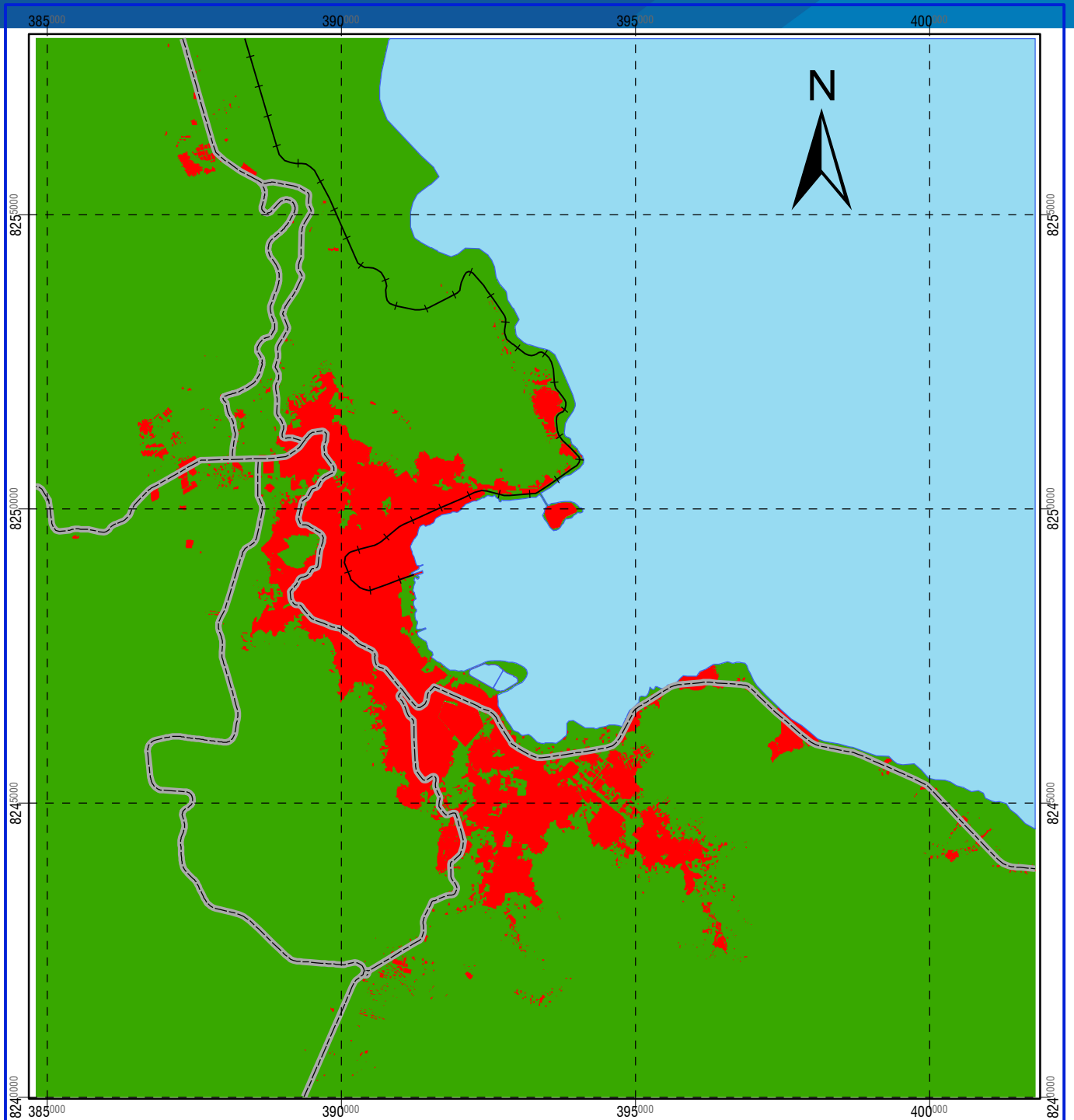
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2031

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2031
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
21	



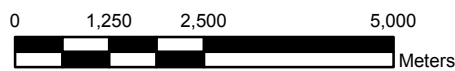
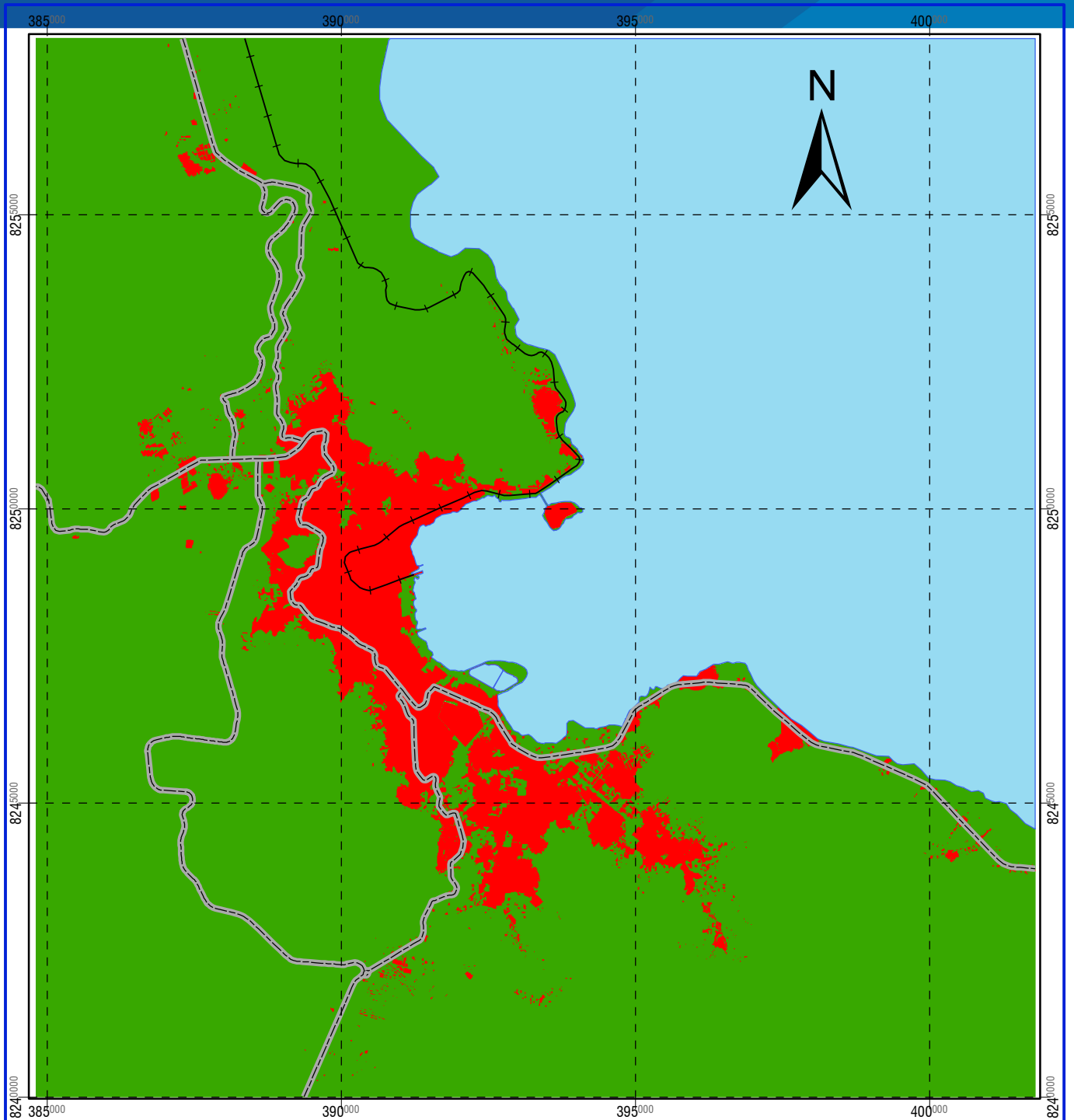
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2032

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2032
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
22	



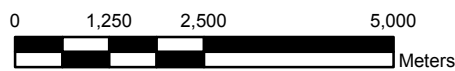
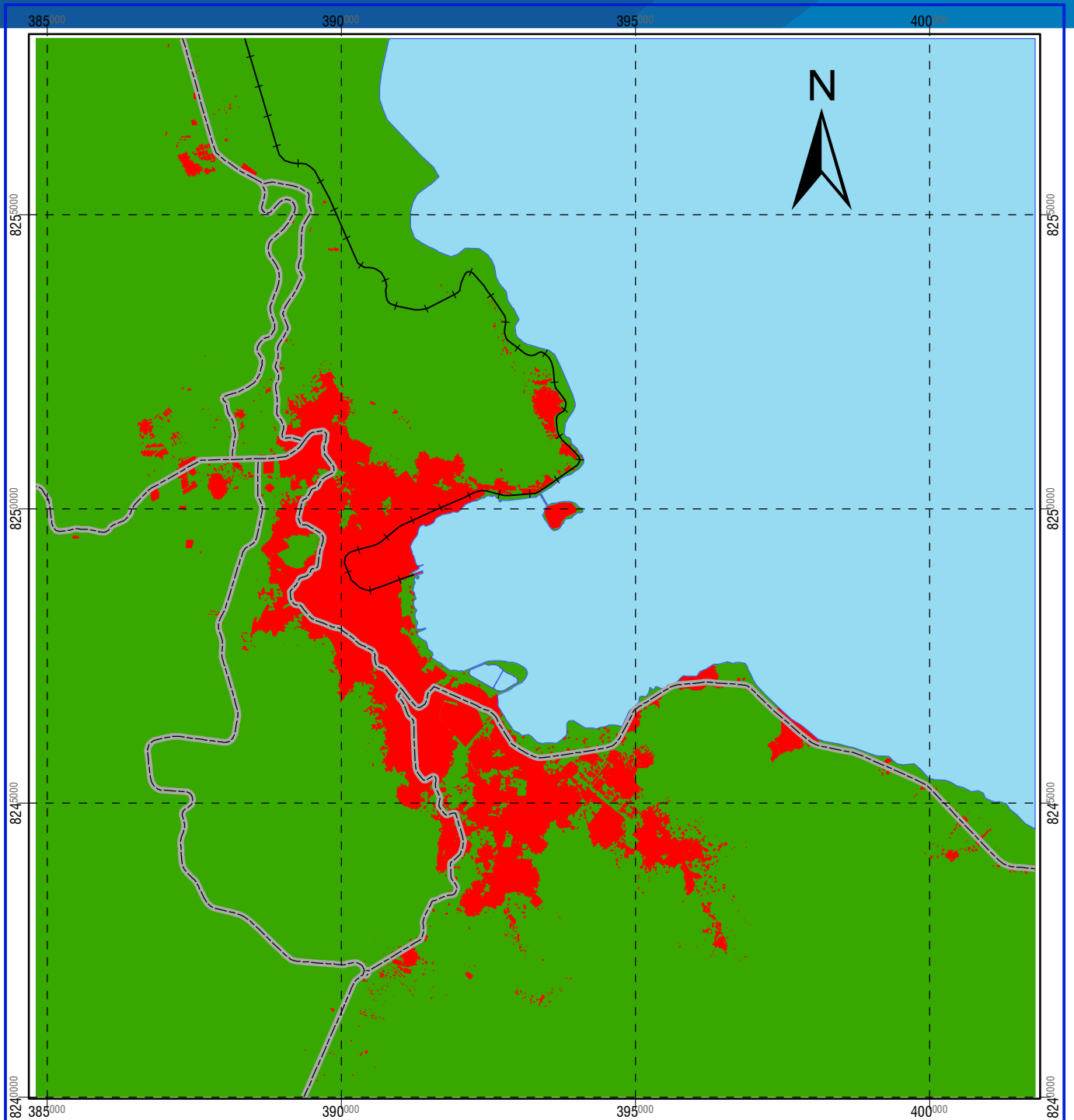
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2033

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2033
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
23	



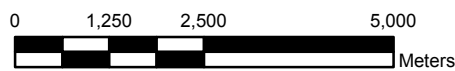
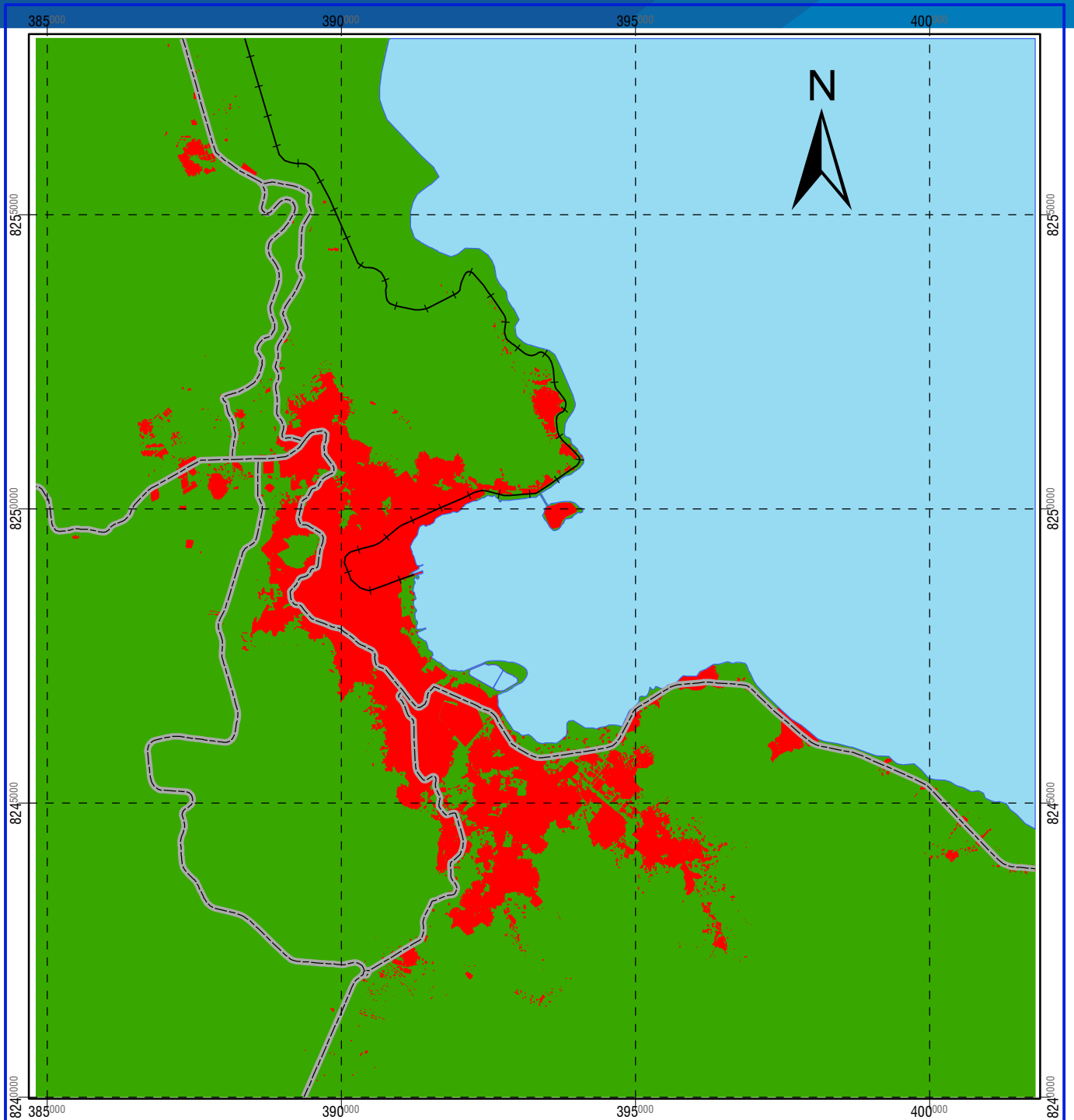
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2034

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2034
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
24	



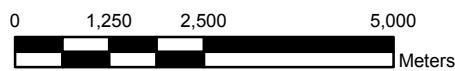
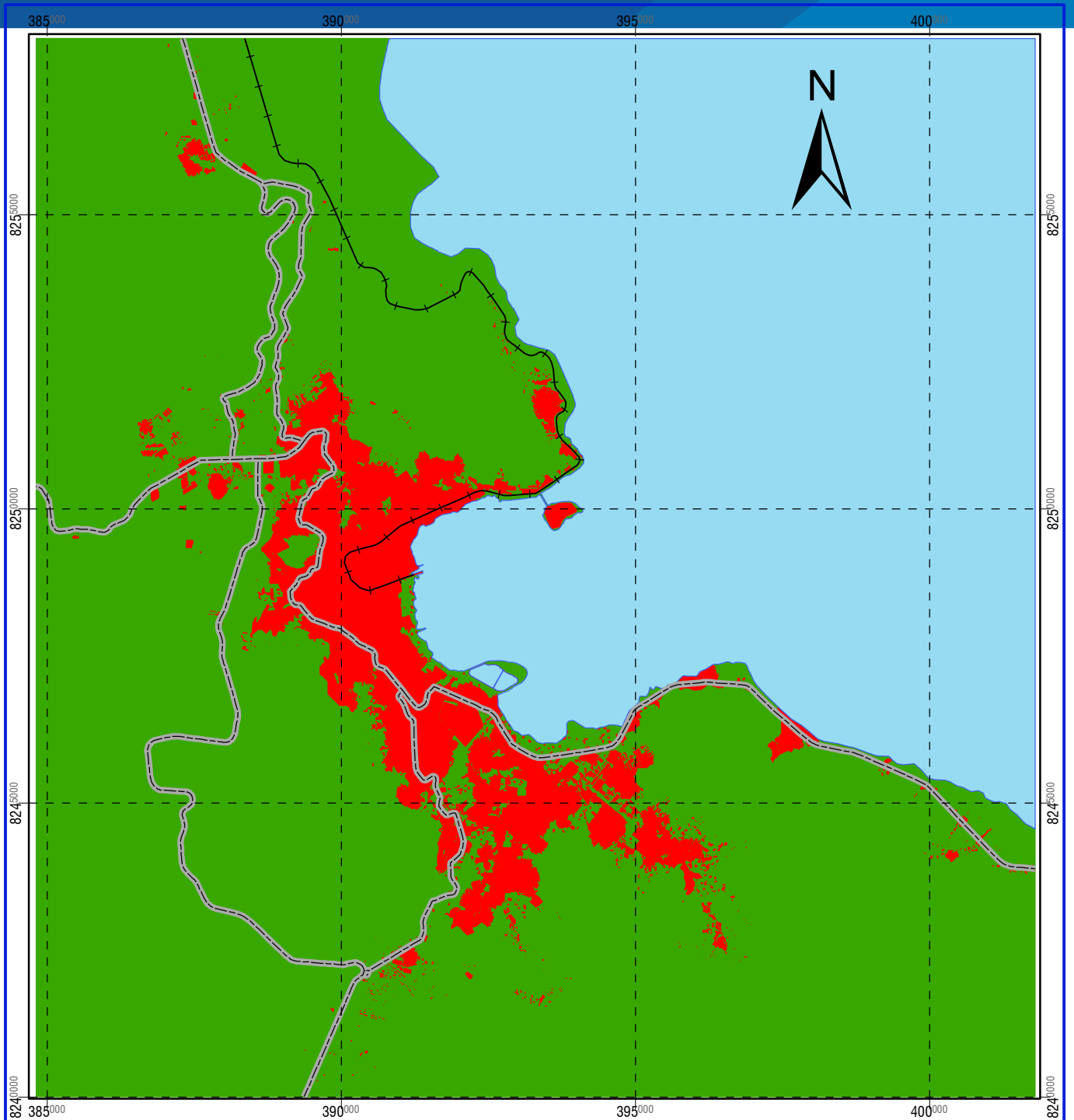
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2035

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2035
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
25	



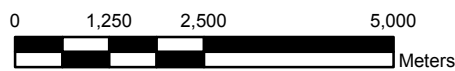
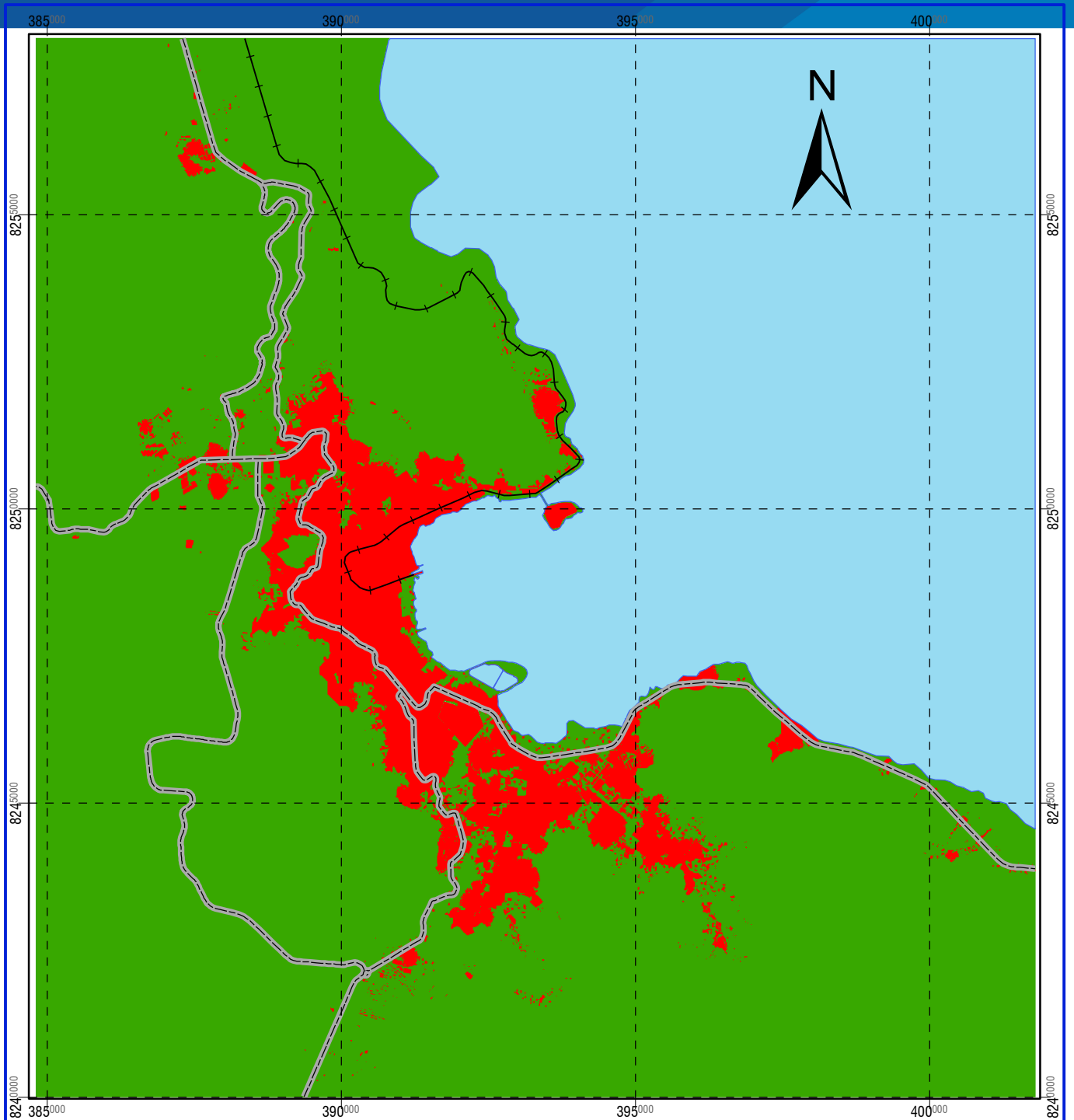
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2036

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2036
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
26	



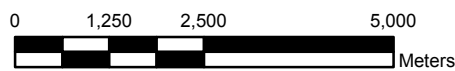
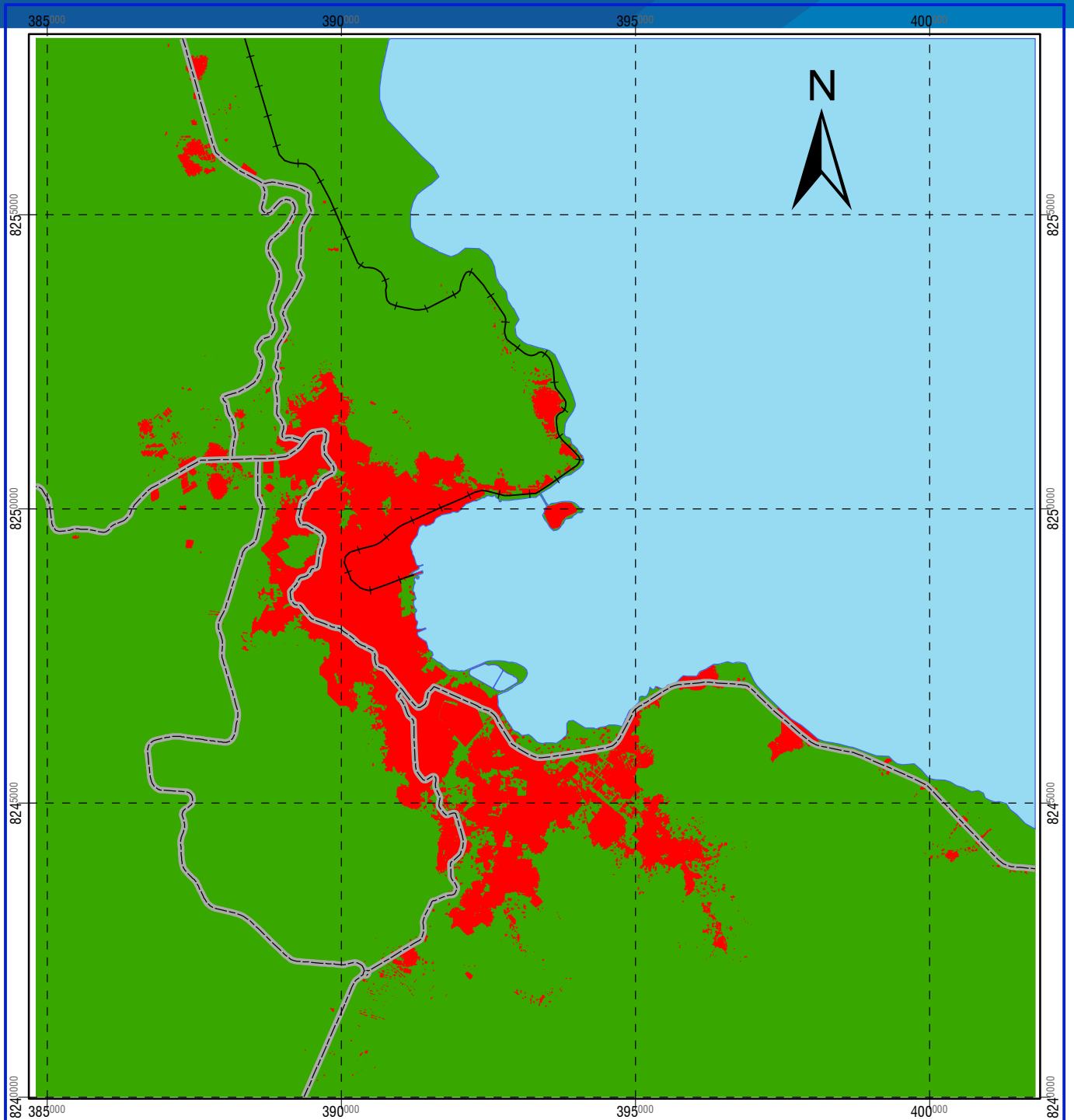
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2037

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2037
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
27	



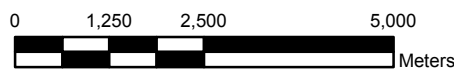
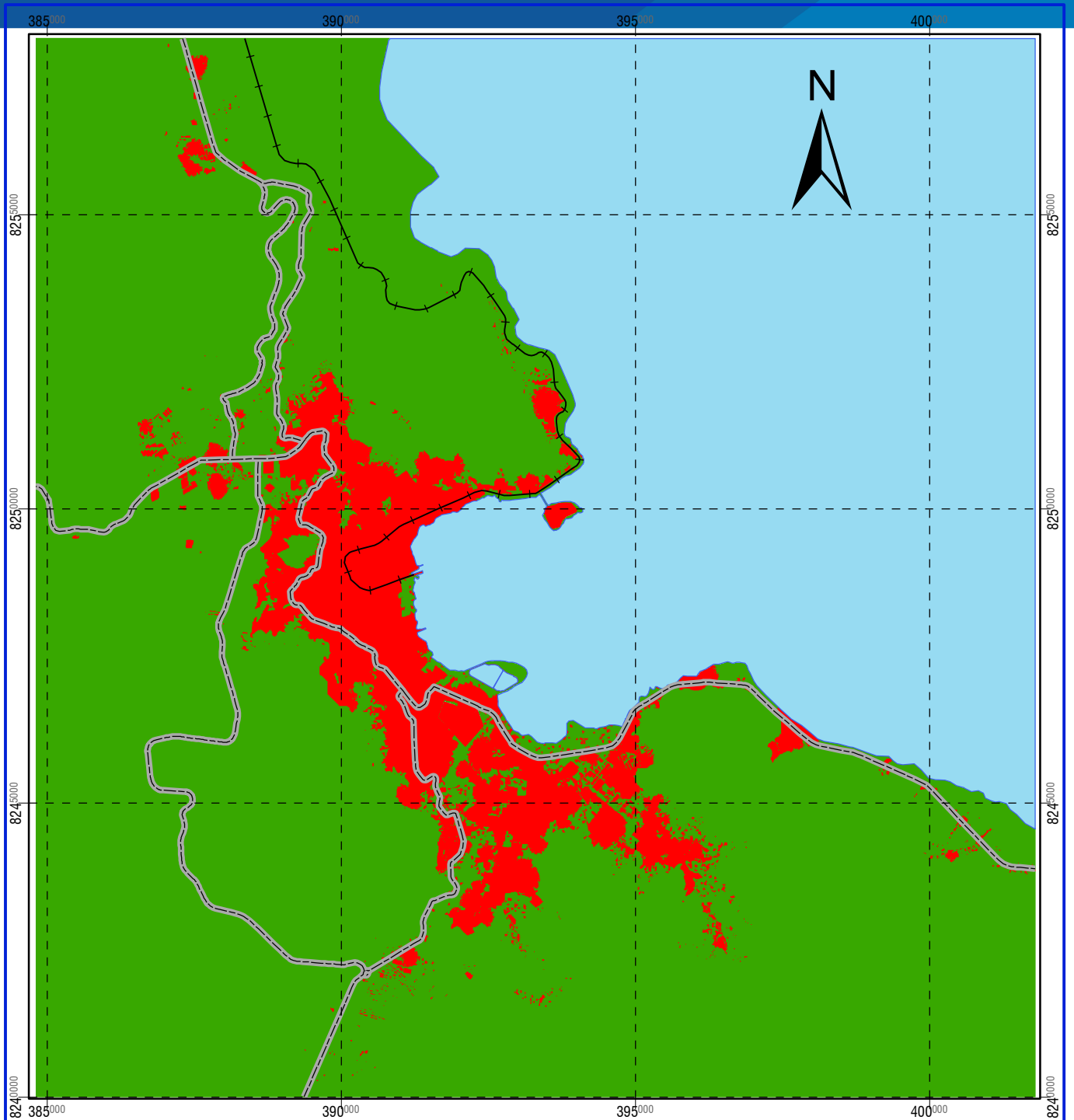
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2038

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2038
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
28	



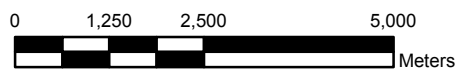
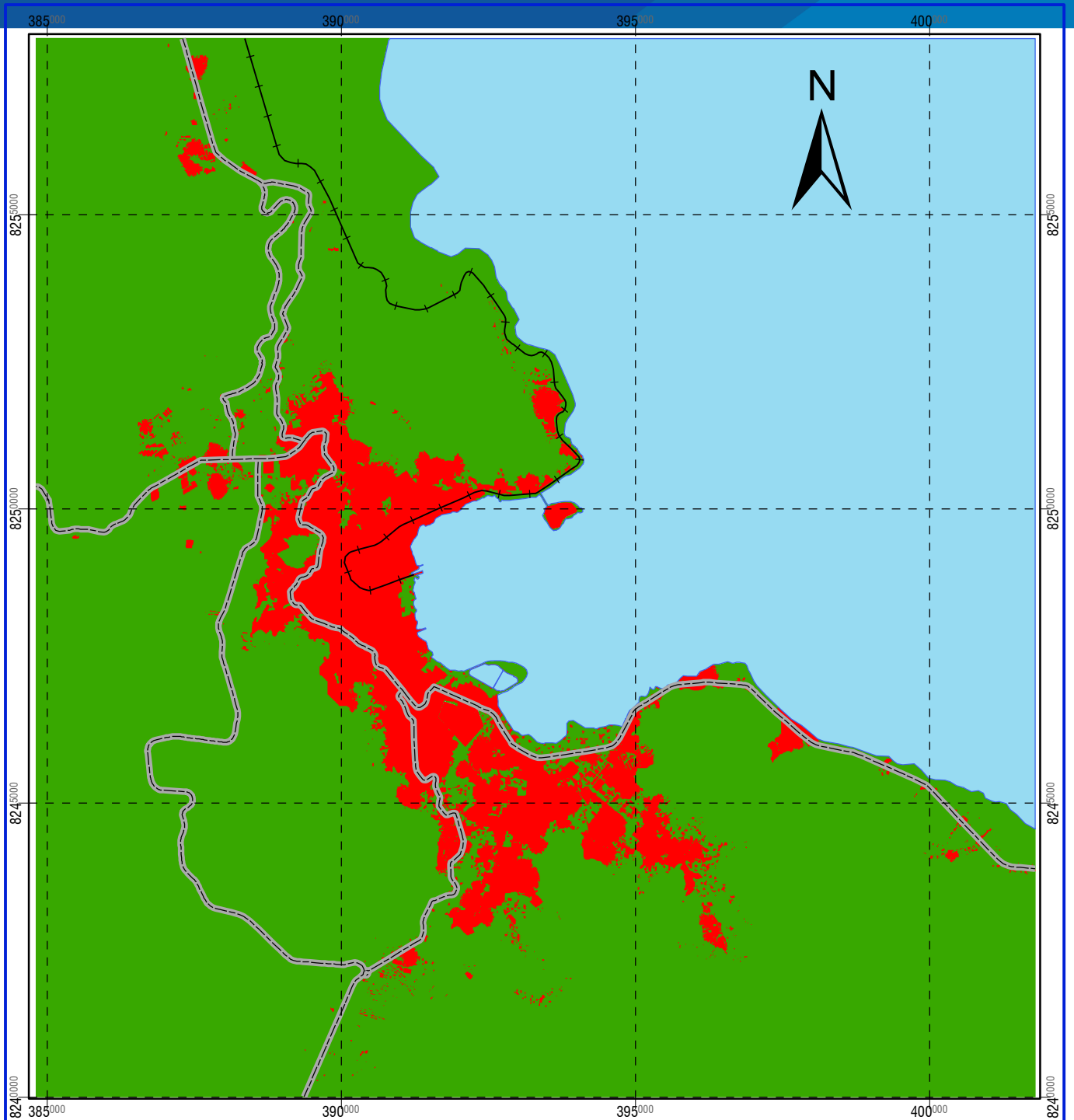
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2039

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2039
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
29	



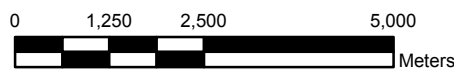
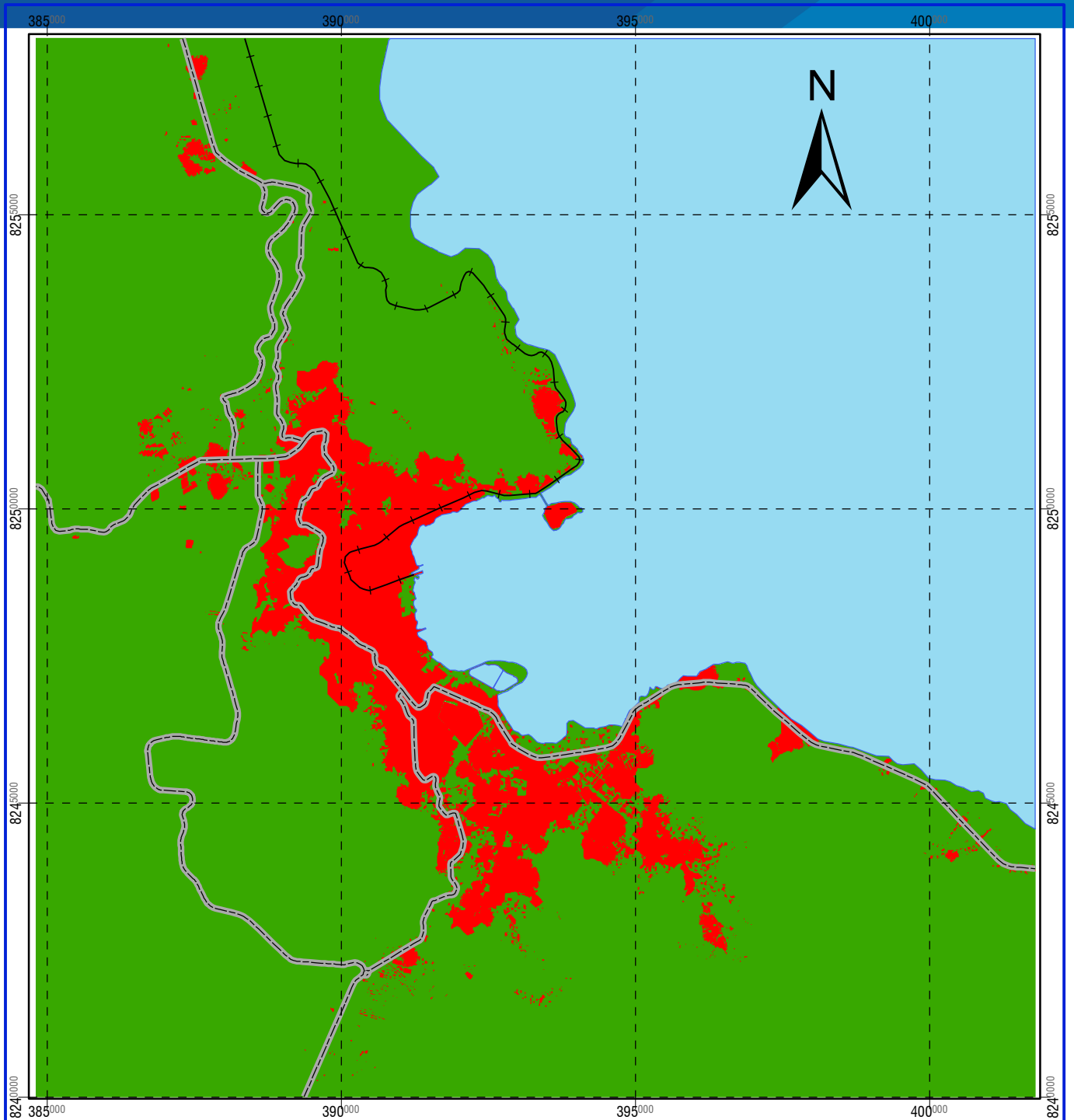
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2040

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2040
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
30	



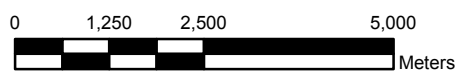
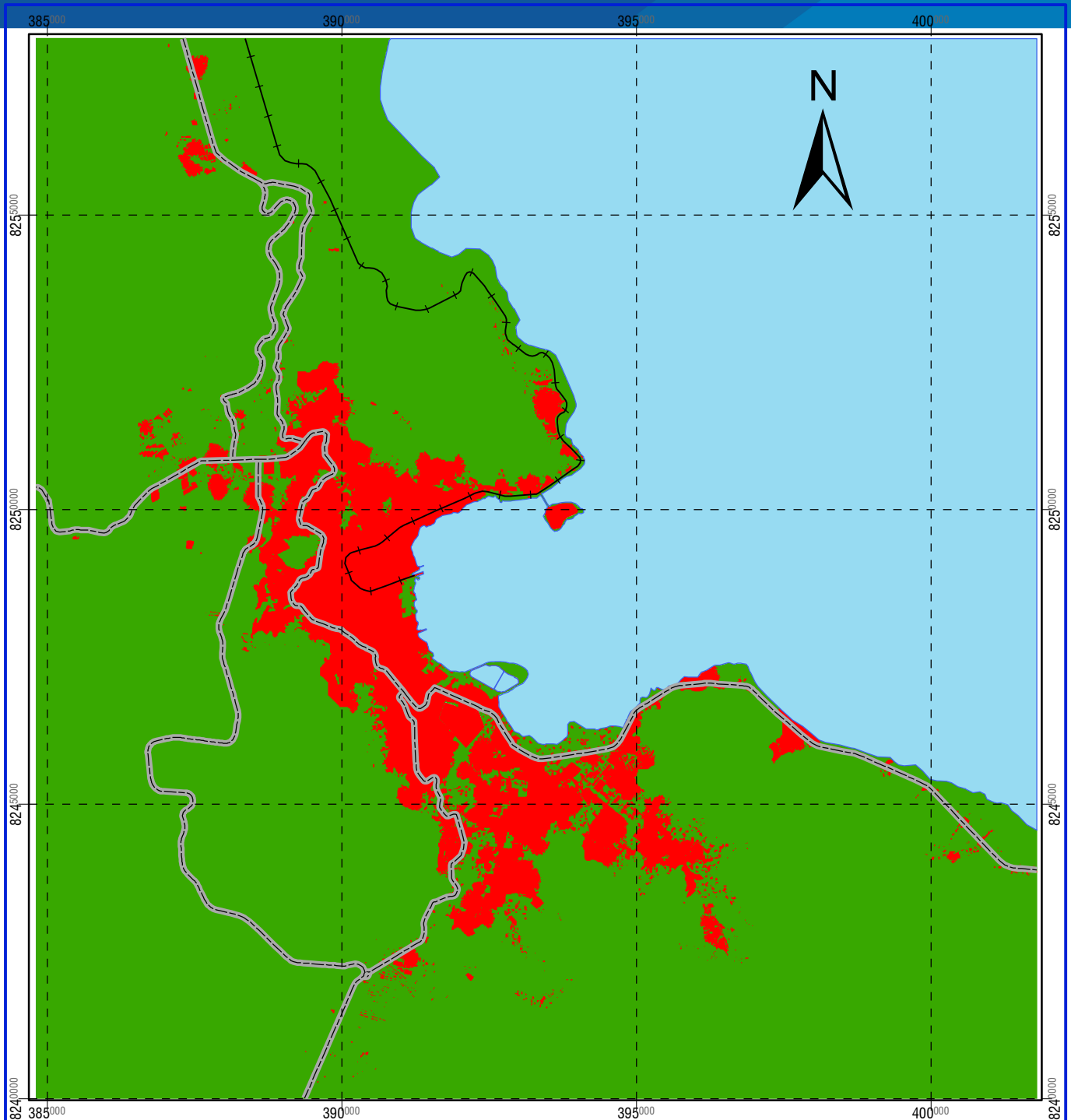
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2041

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2041
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
31	



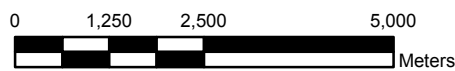
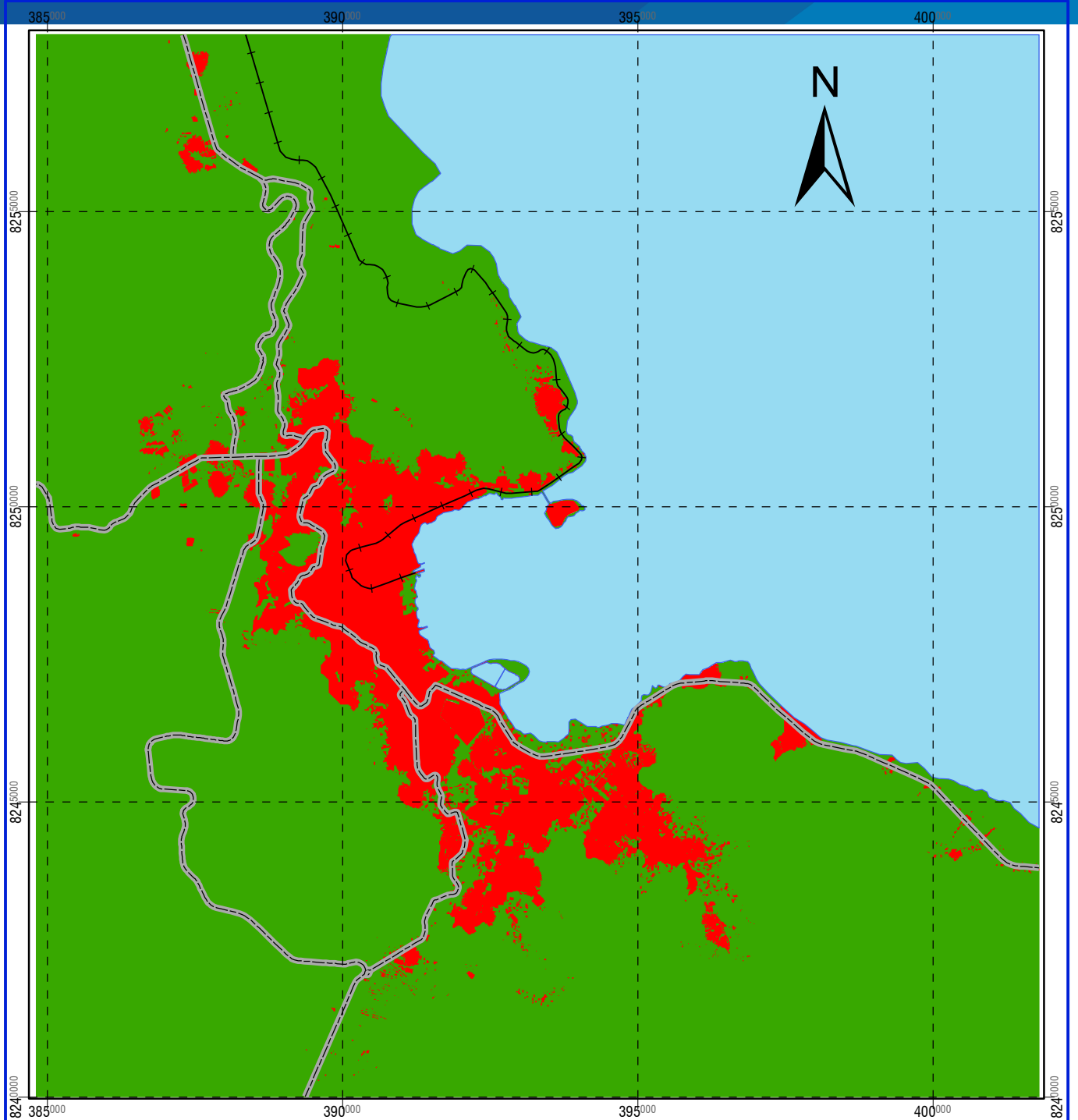
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2042

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2042
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
32	



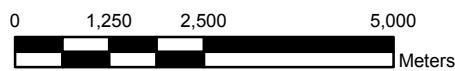
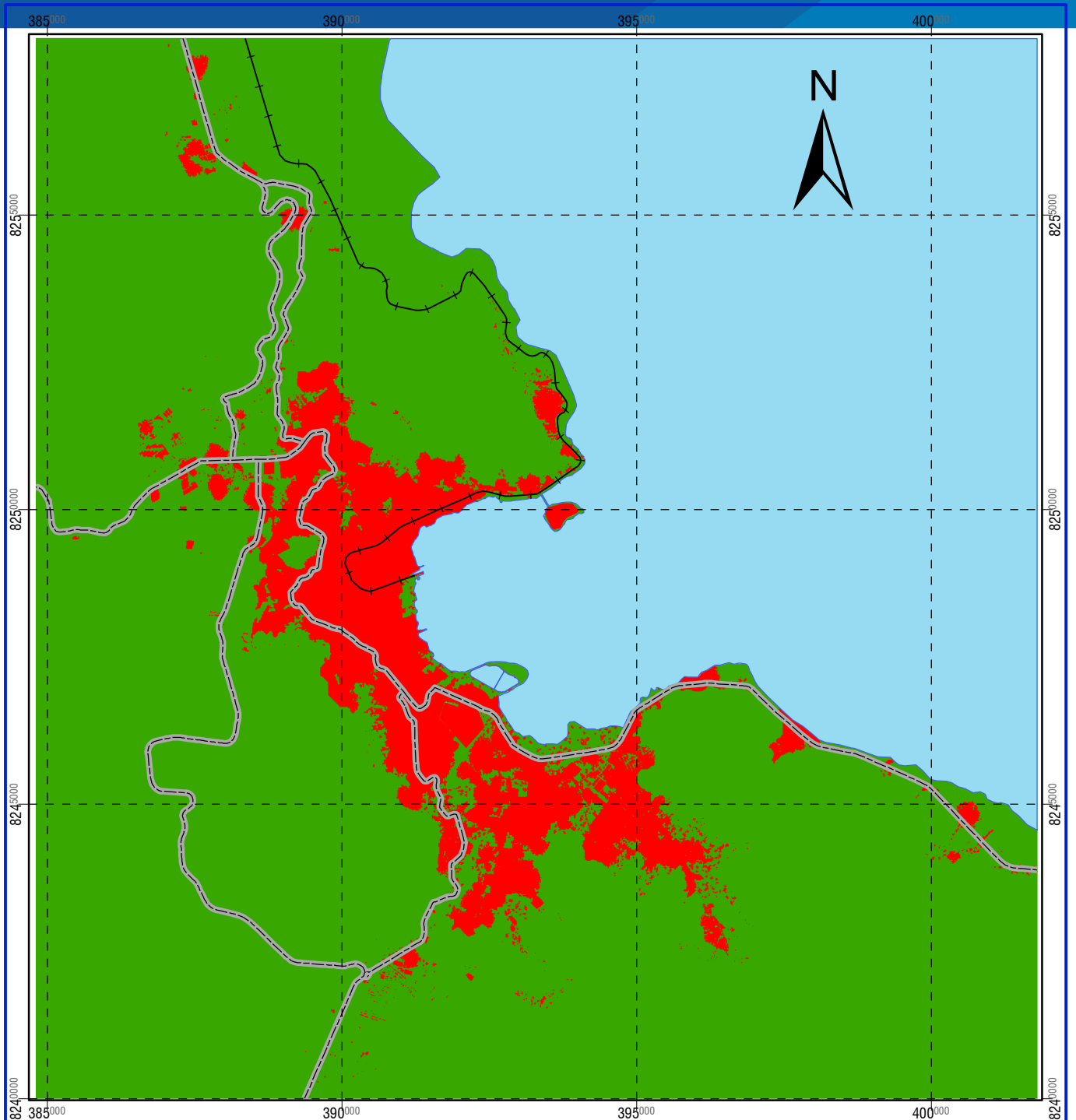
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2043

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2043
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
33	



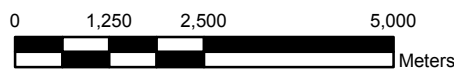
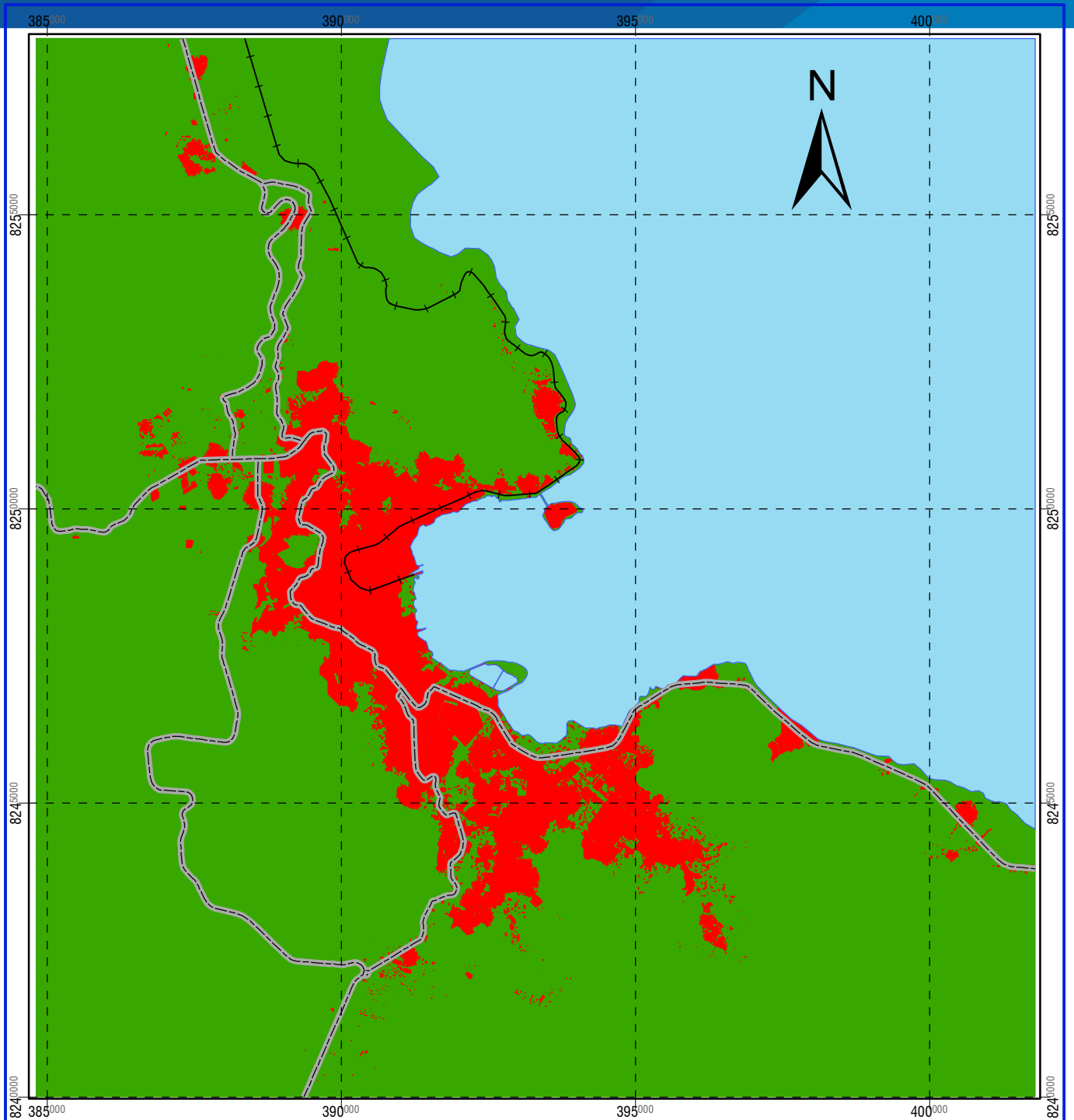
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2044

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2044
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
34	



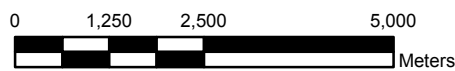
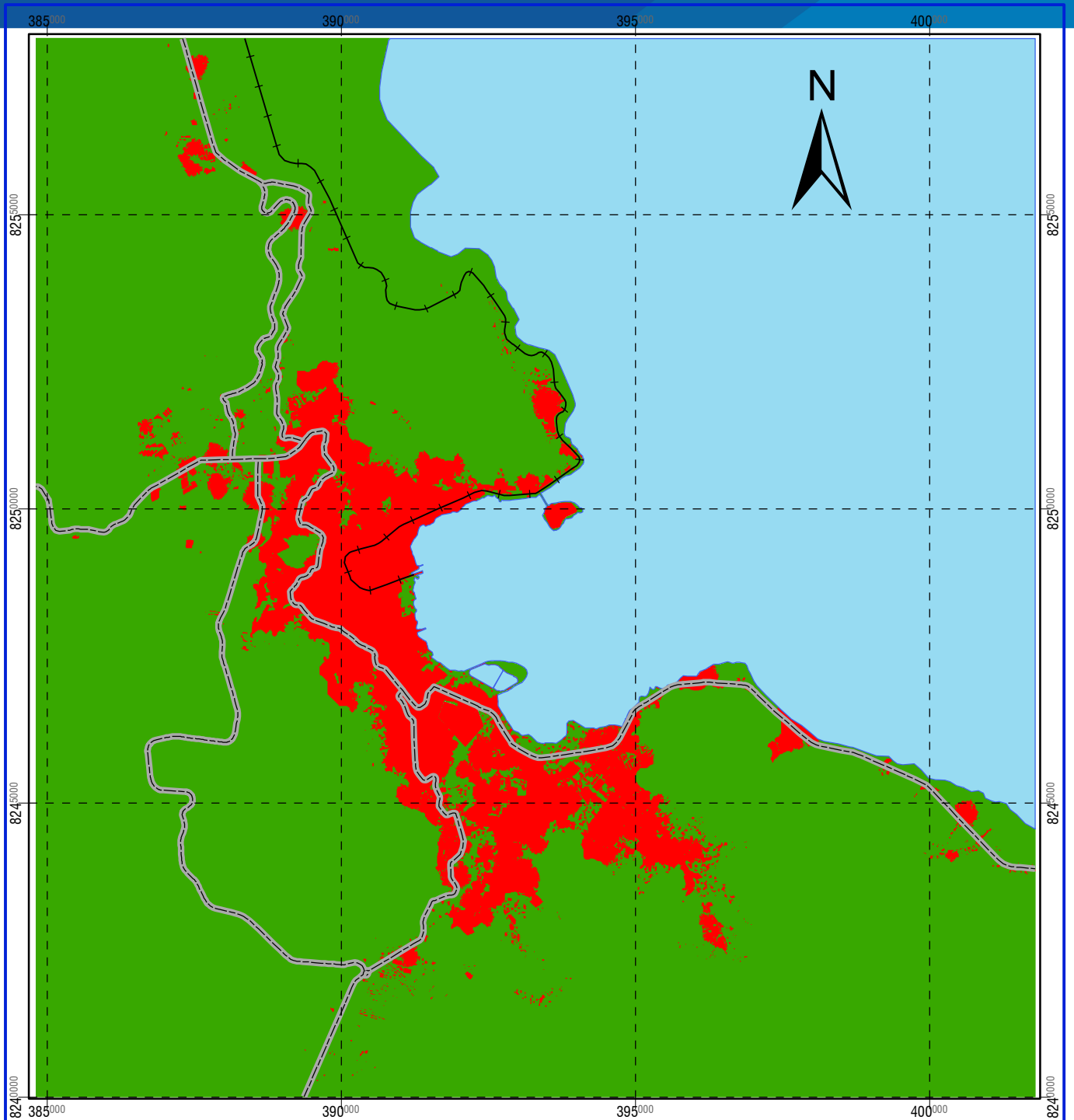
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2045

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2045
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
35	



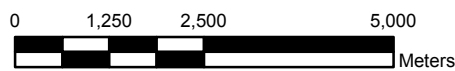
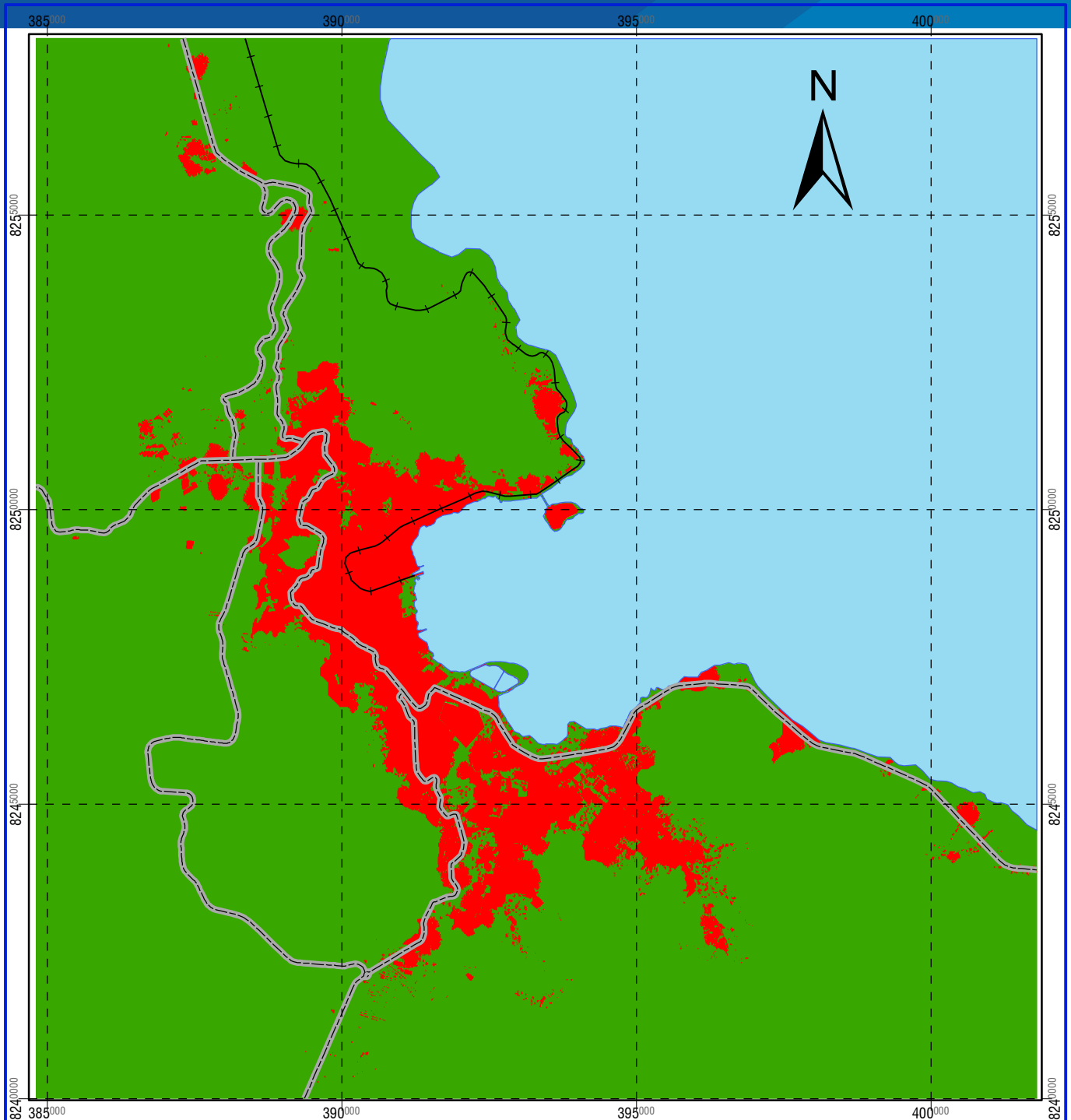
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2046

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2046
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
36	



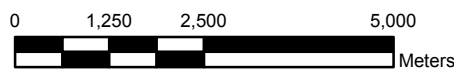
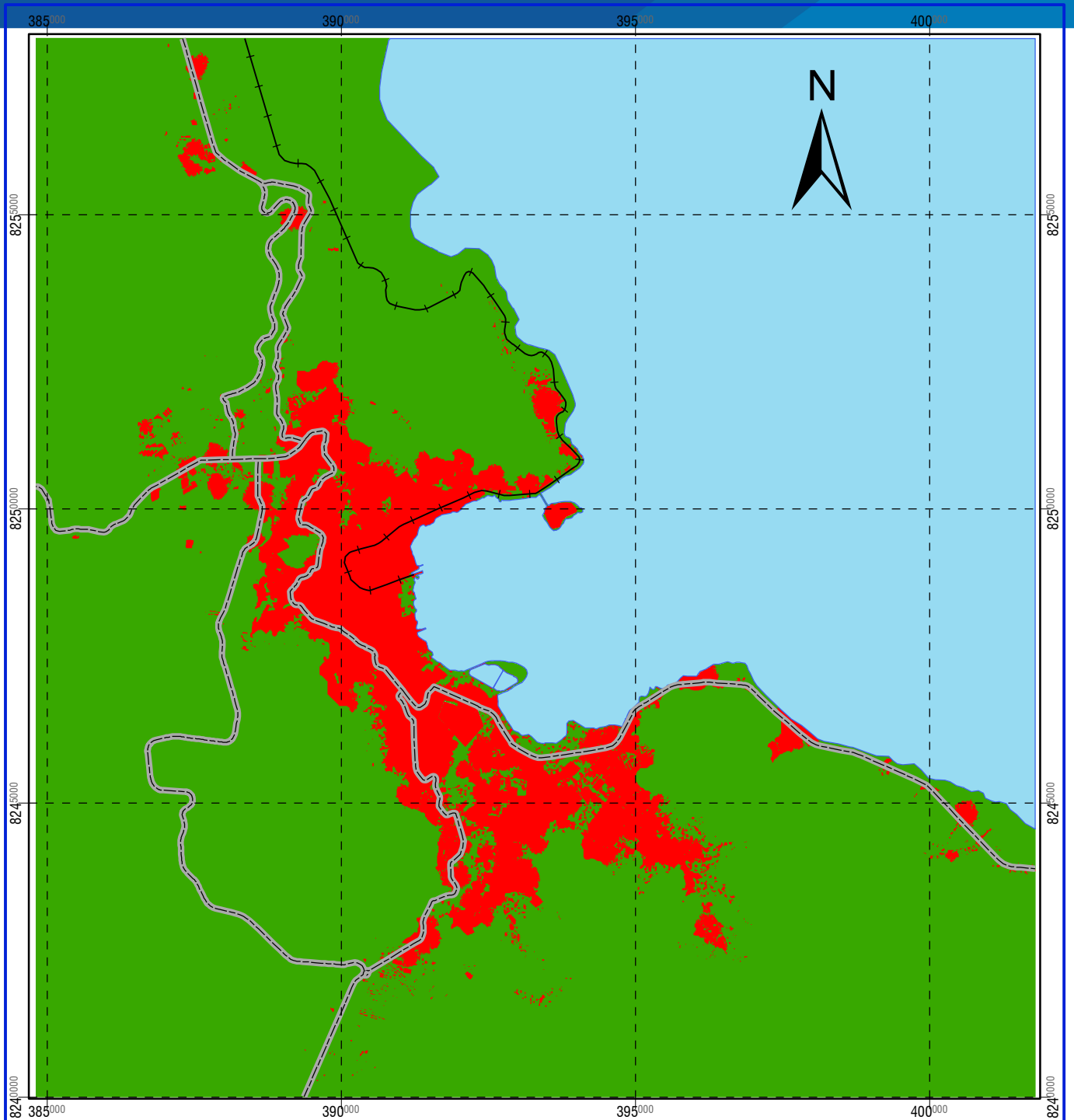
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2047

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2047
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
37	



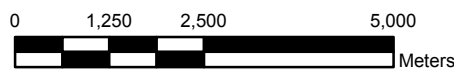
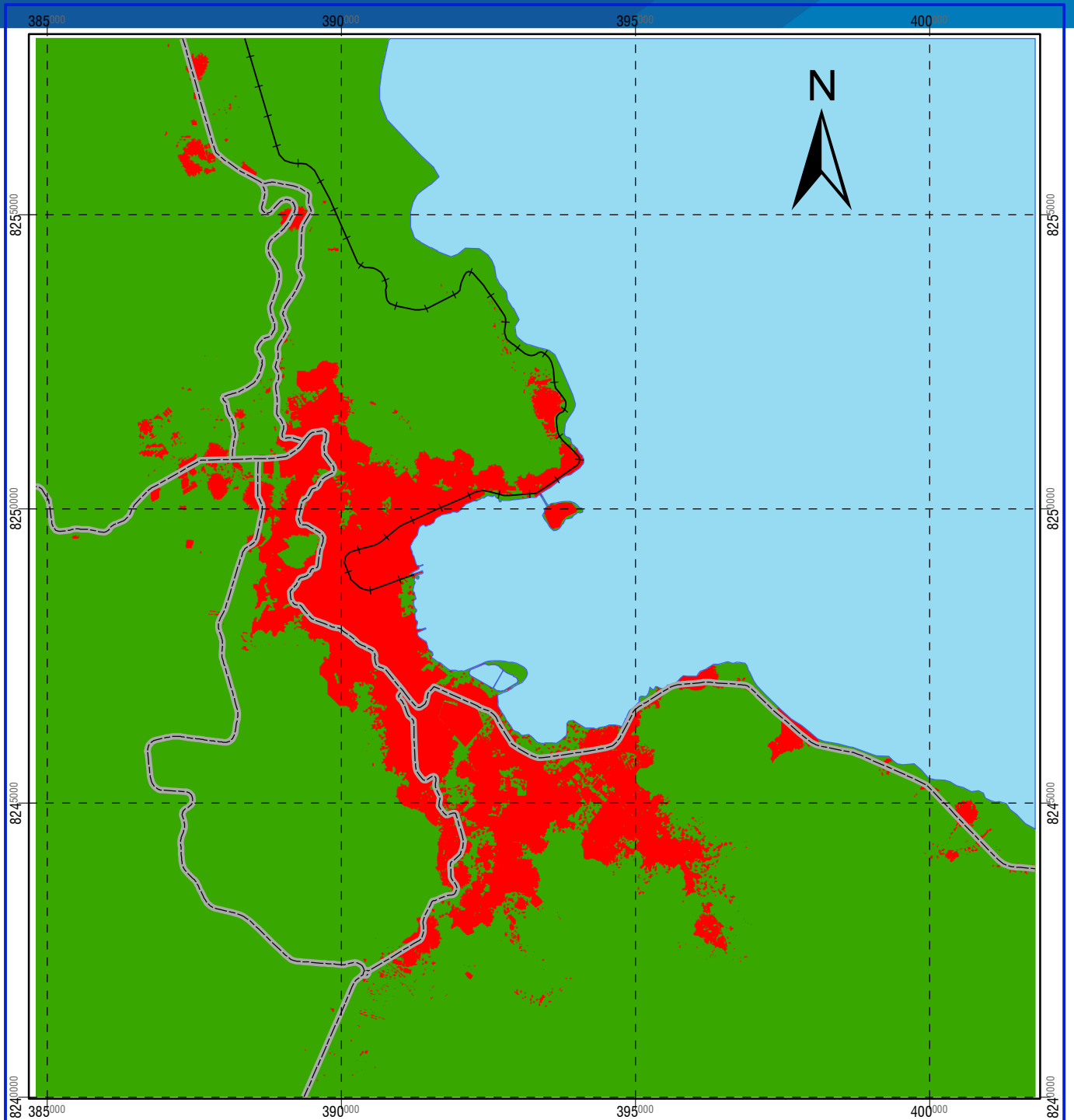
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2048

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2048
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
38	



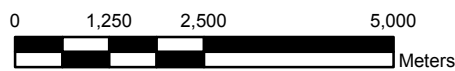
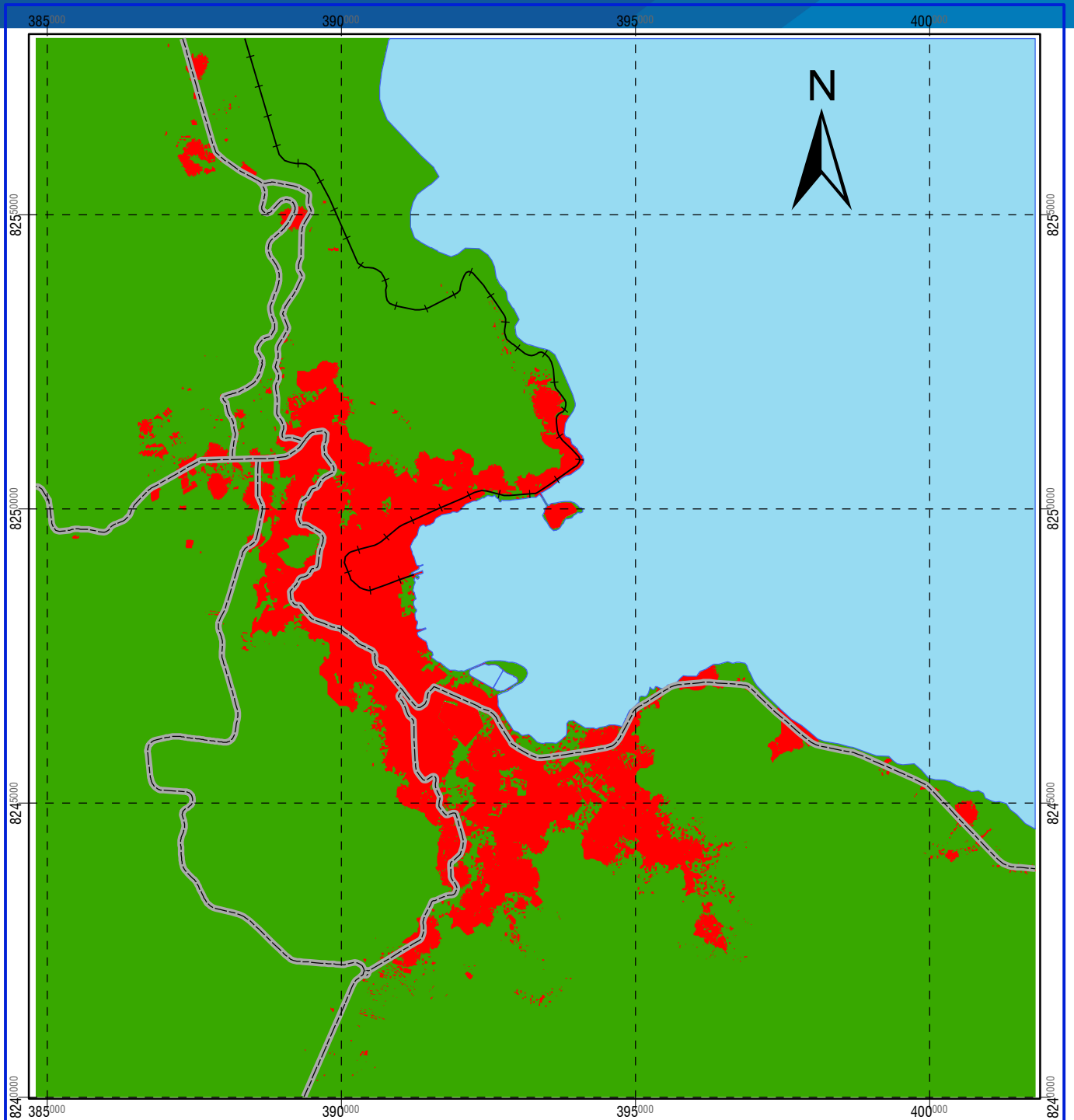
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2049

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2049
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
39	



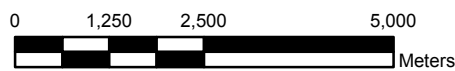
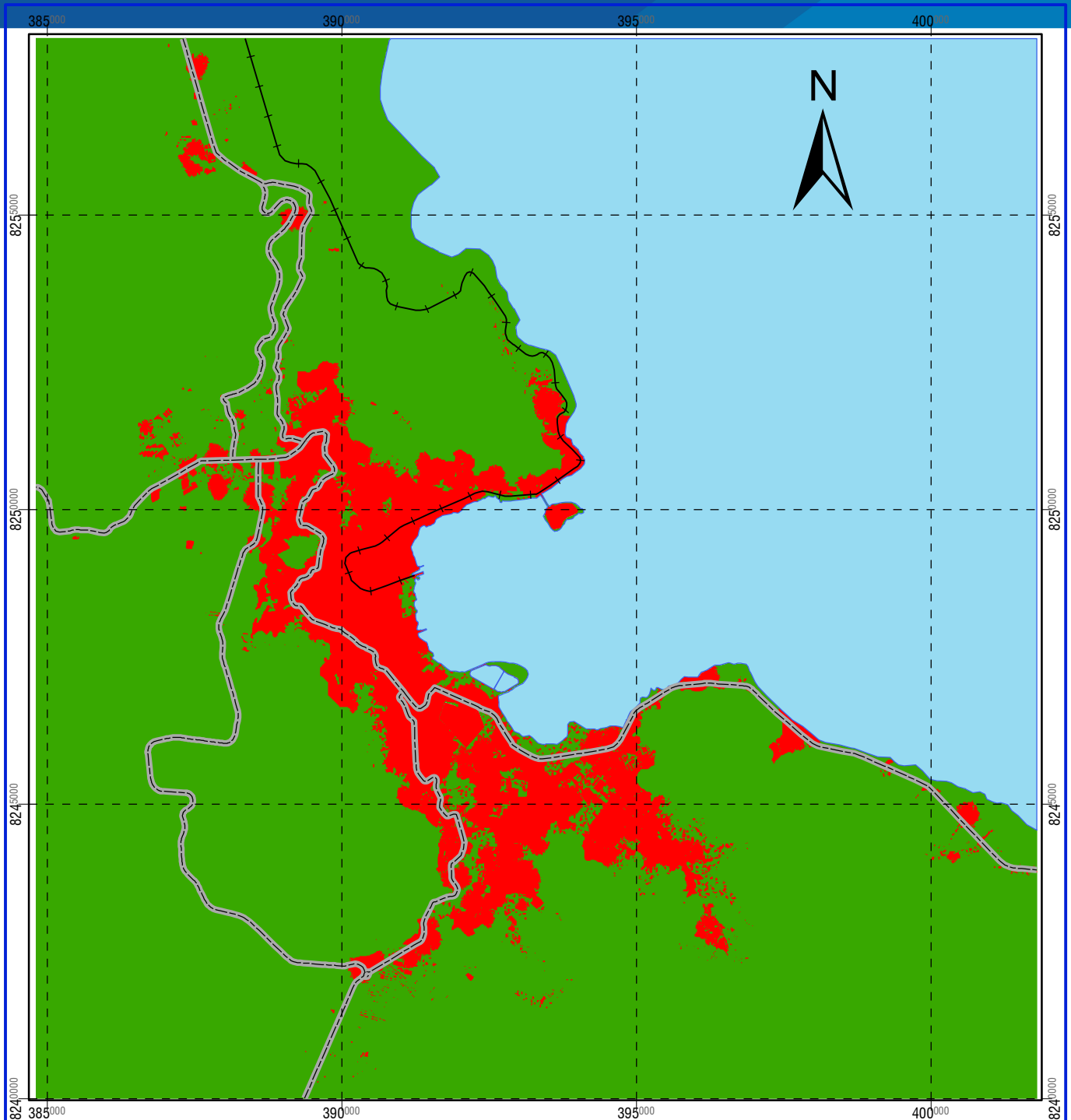
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2050

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2050
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
40	



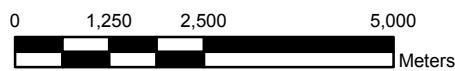
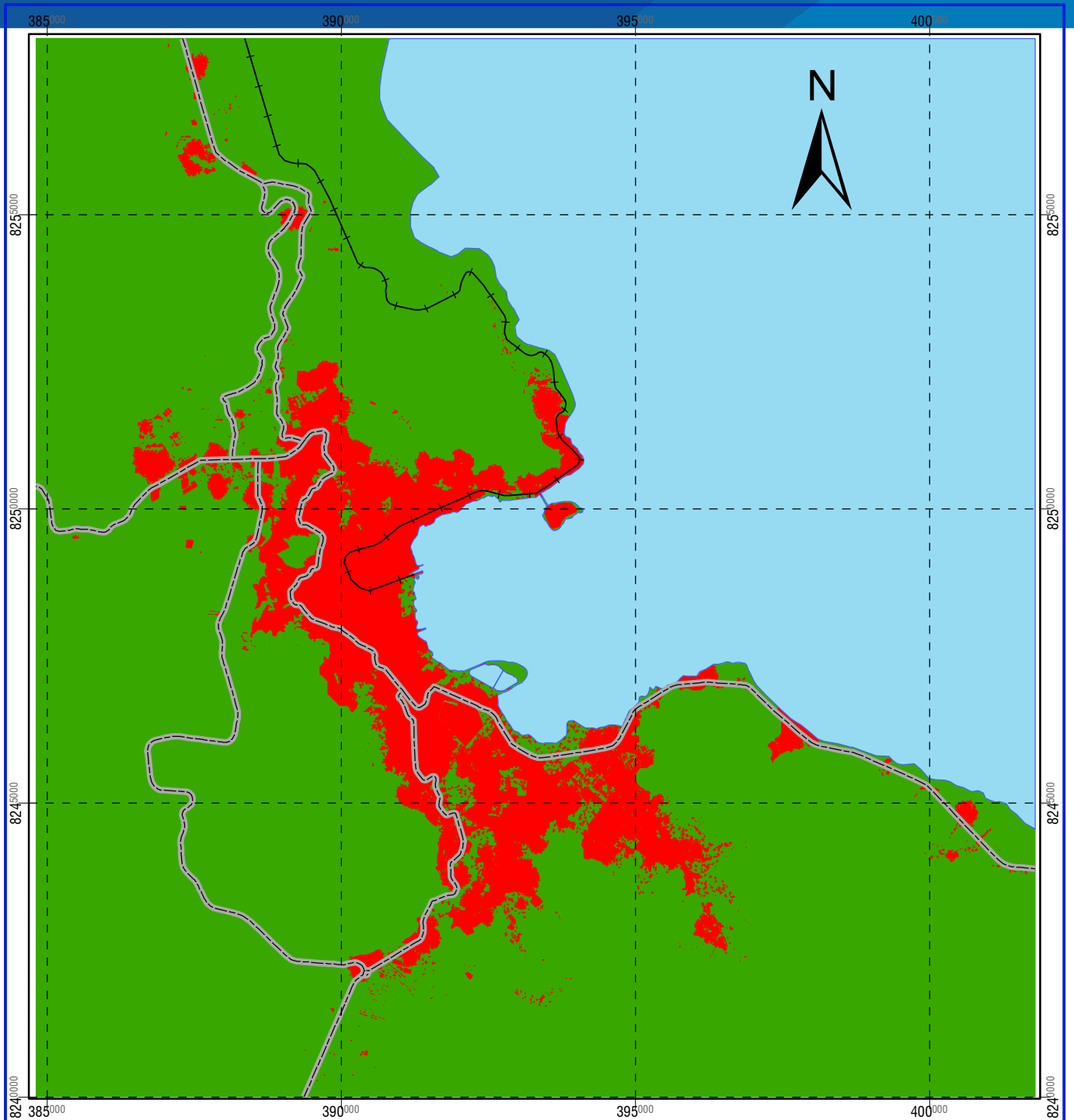
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2051

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2051
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
41	



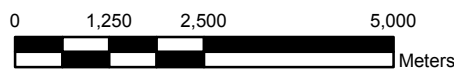
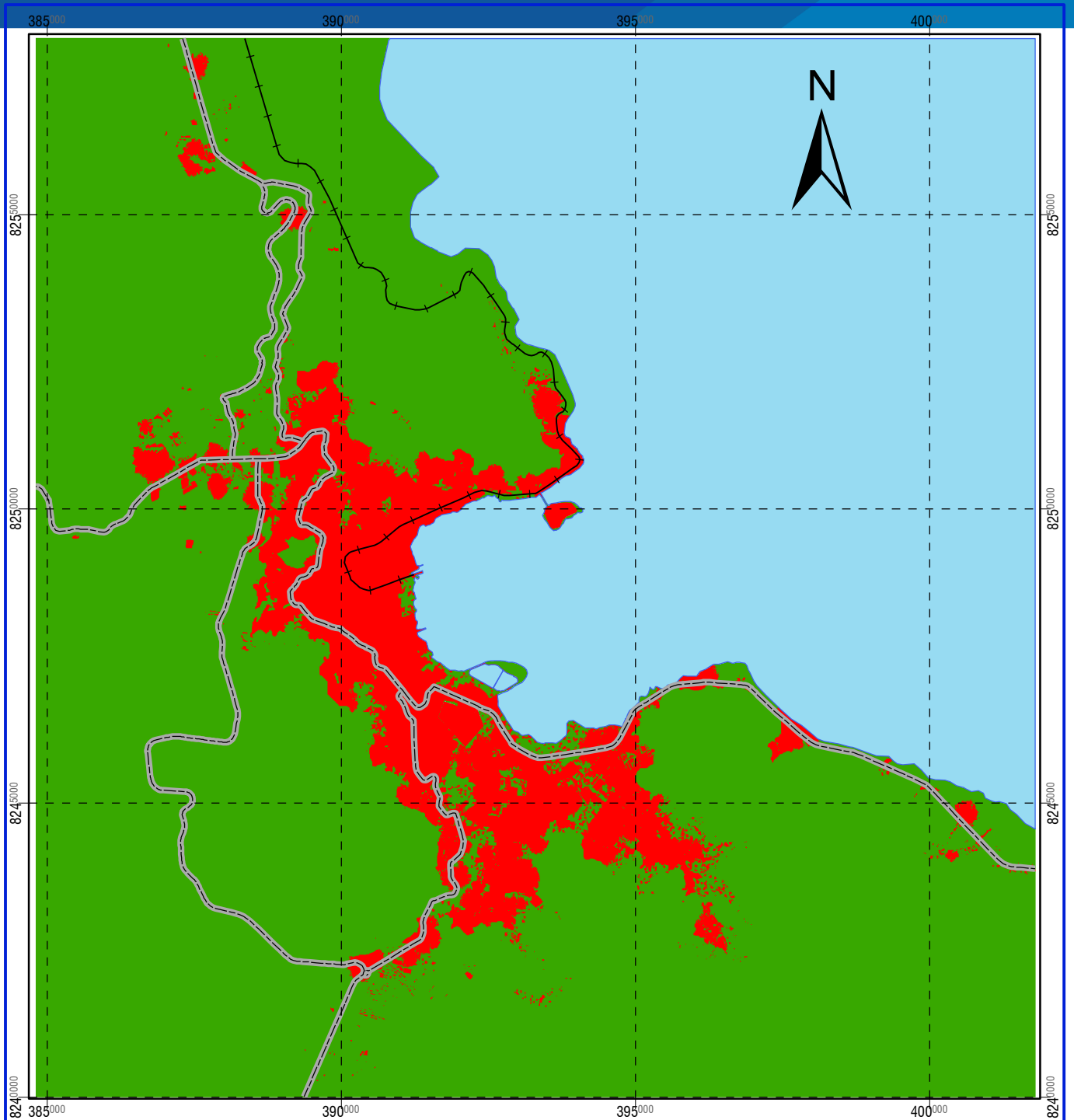
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2052

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2052
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
42	



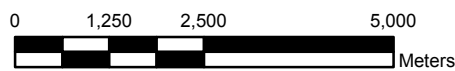
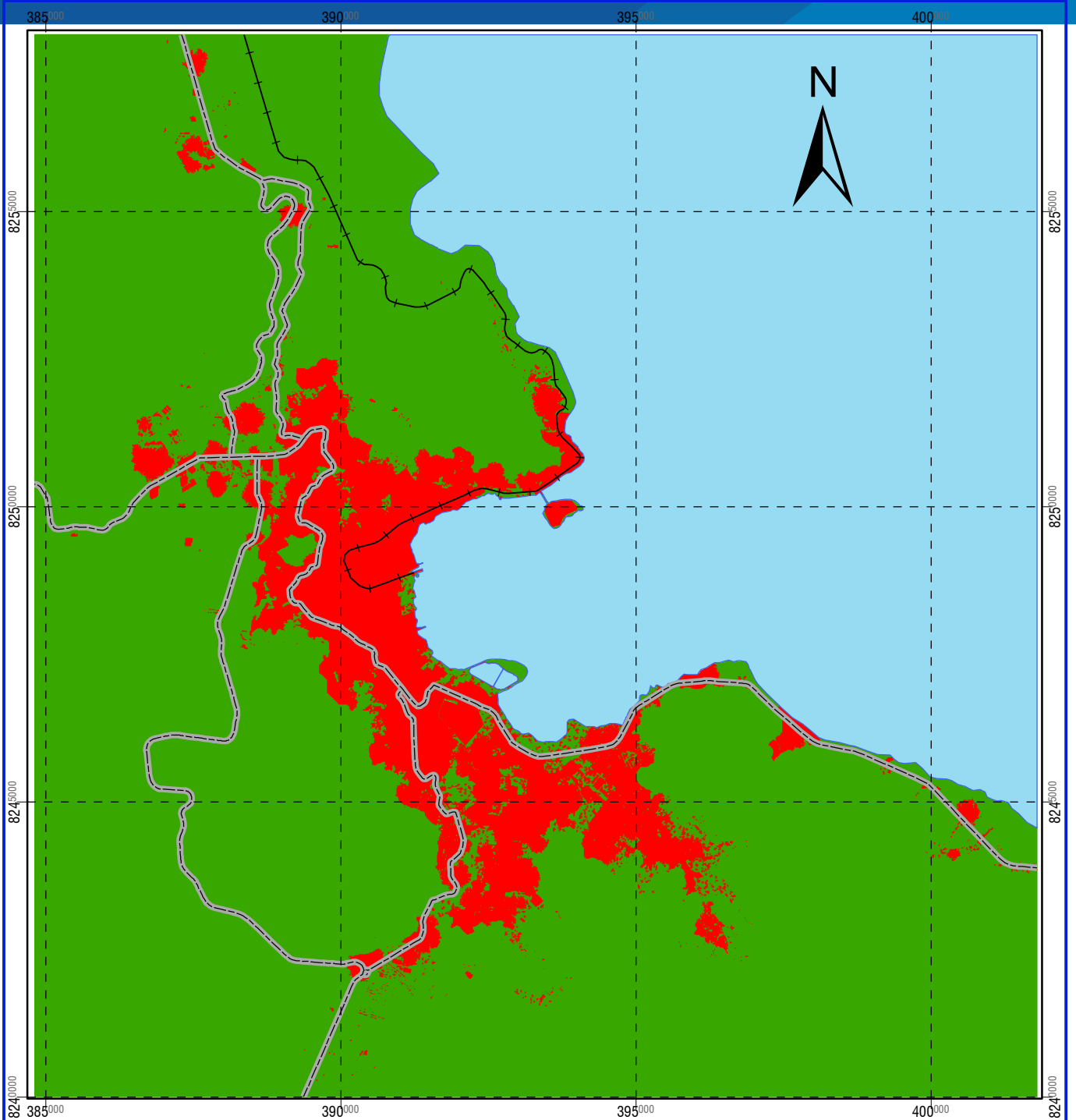
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2053

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2053
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
43	



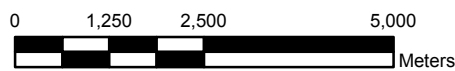
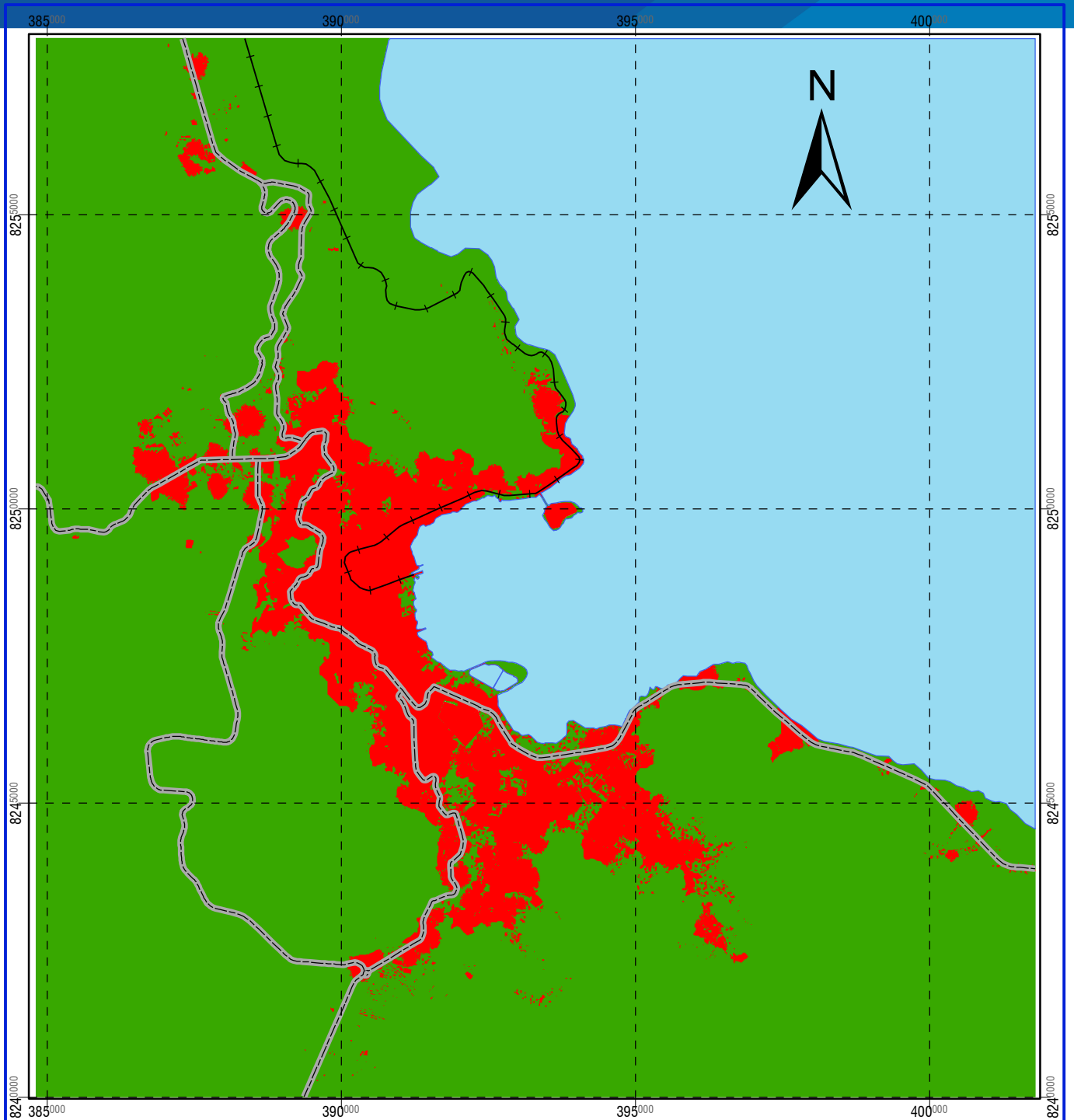
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2054

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2054
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
44	



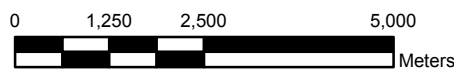
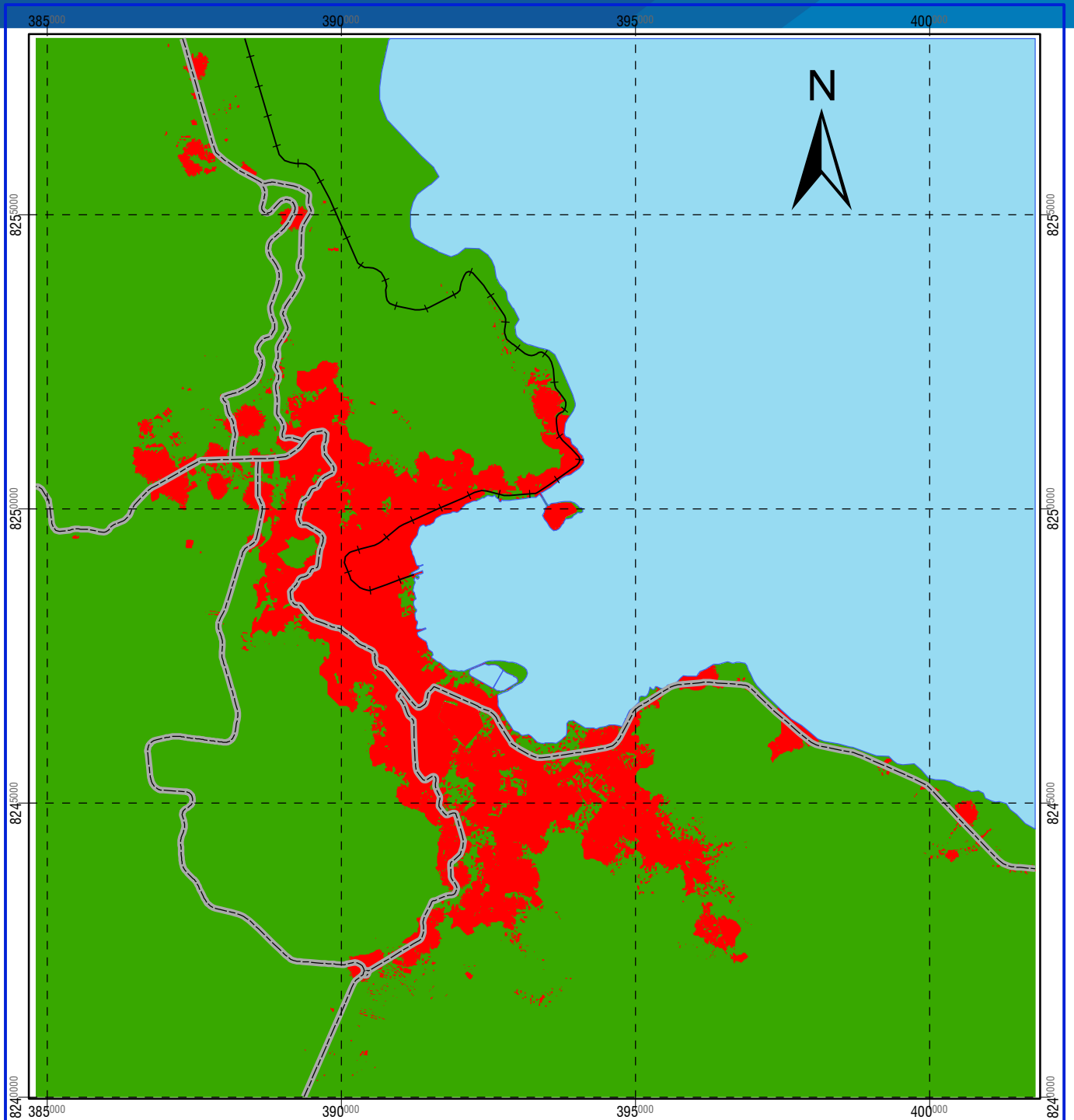
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2055

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2055
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
45	



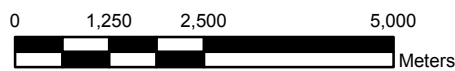
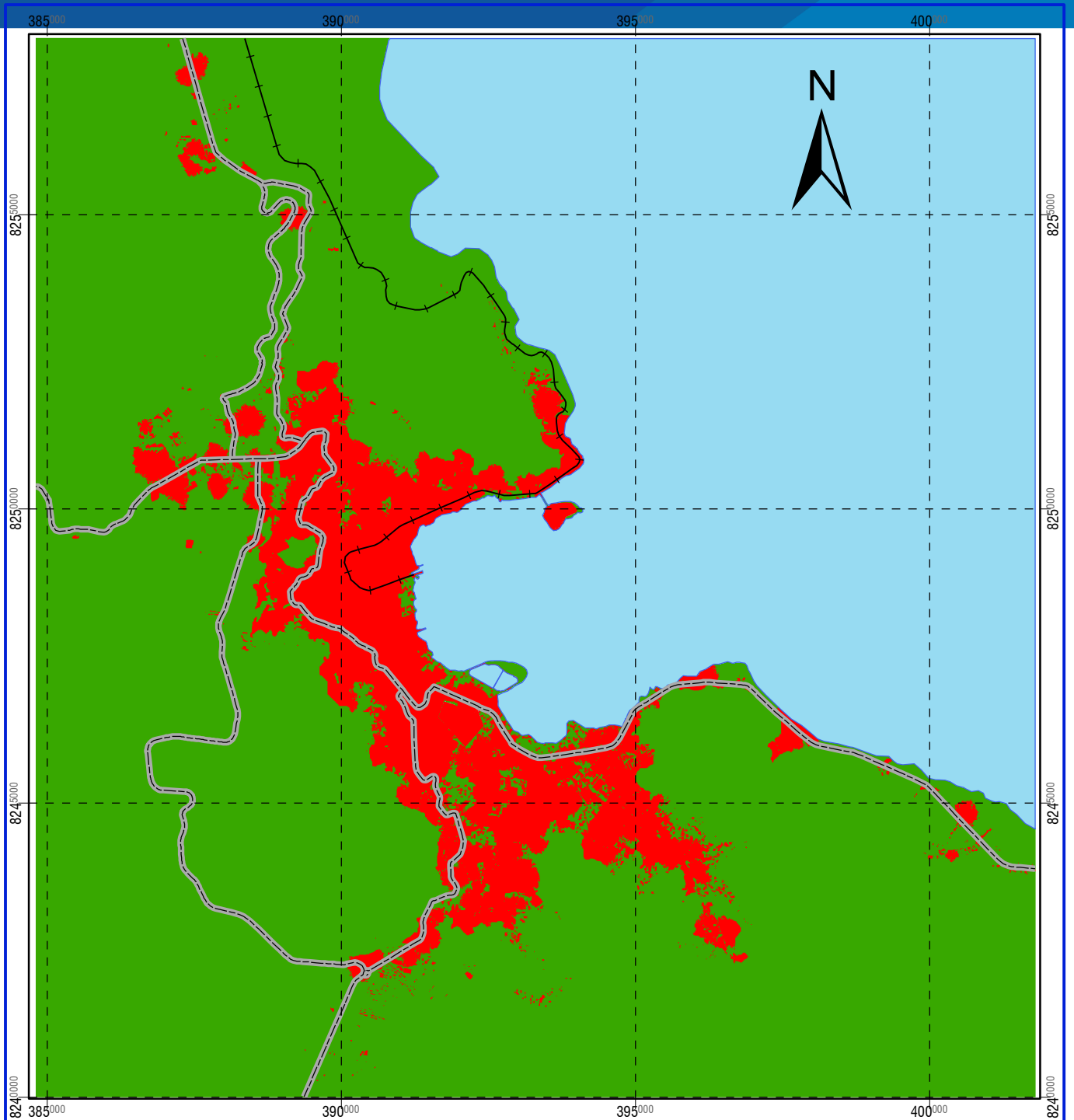
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2056

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2056
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
46	



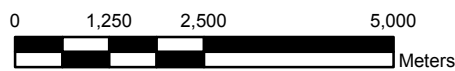
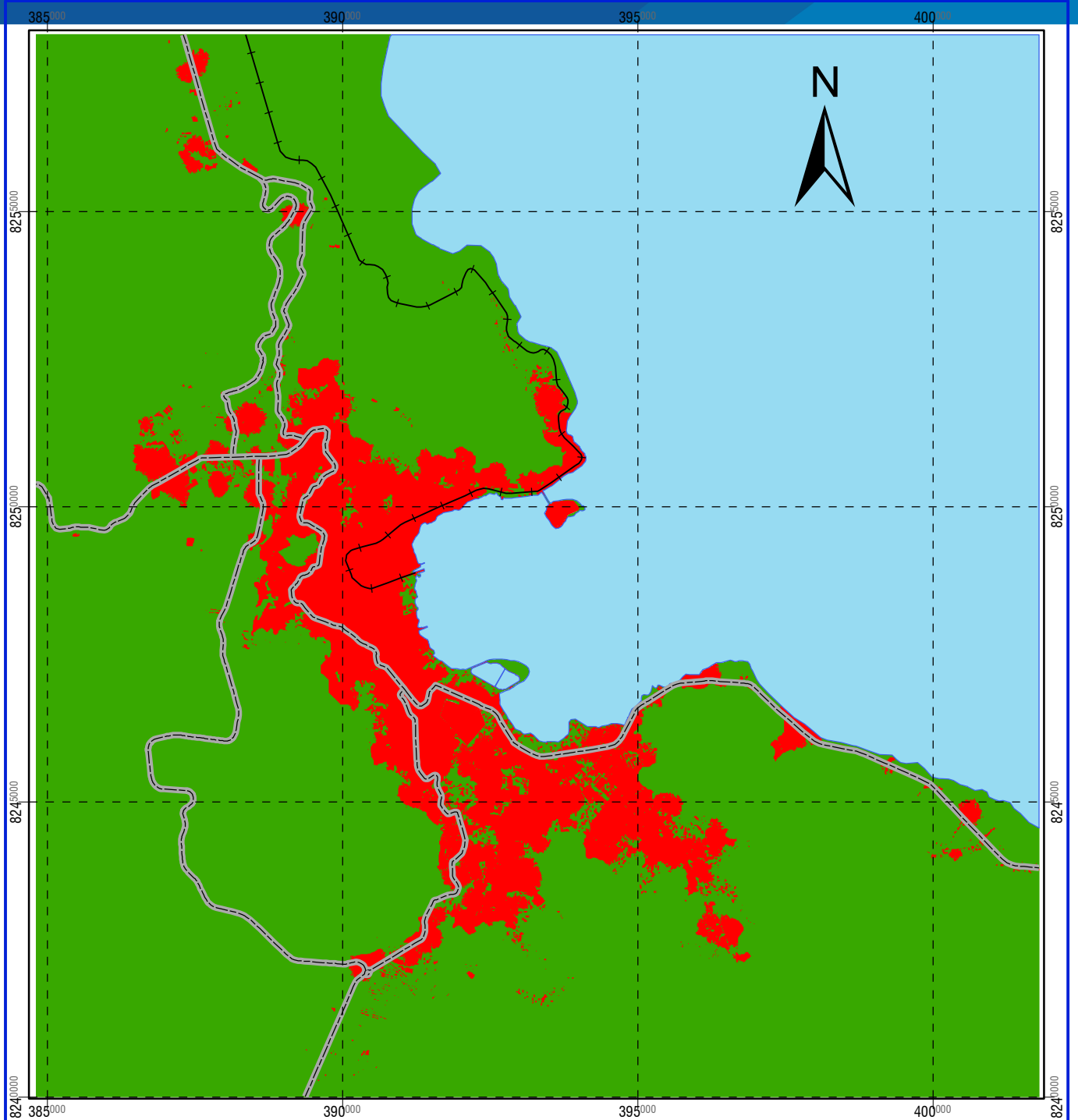
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2057

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2057
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
47	



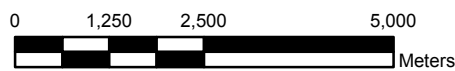
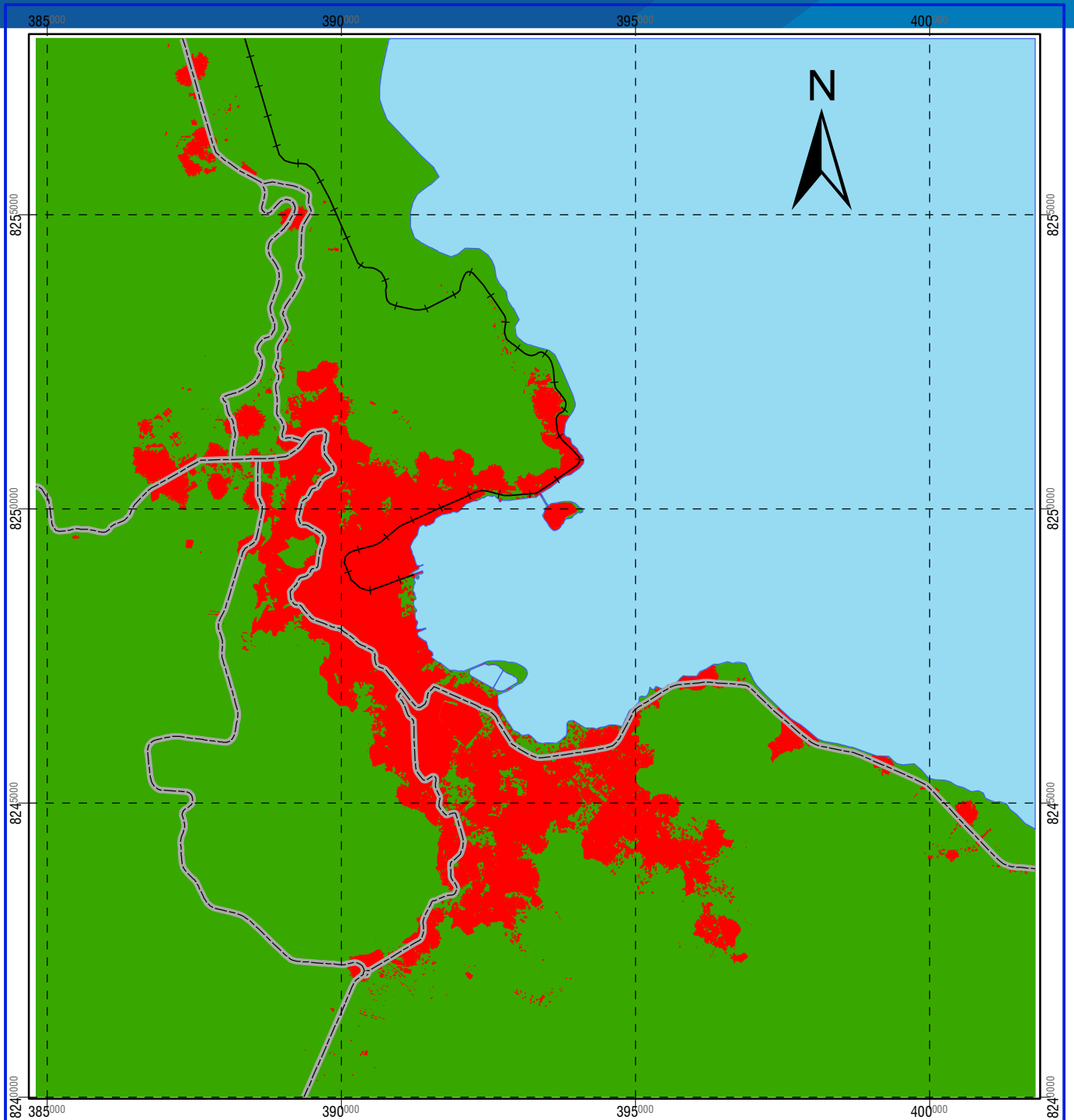
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2058

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2058
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
48	



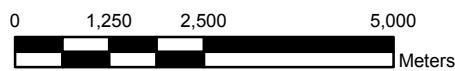
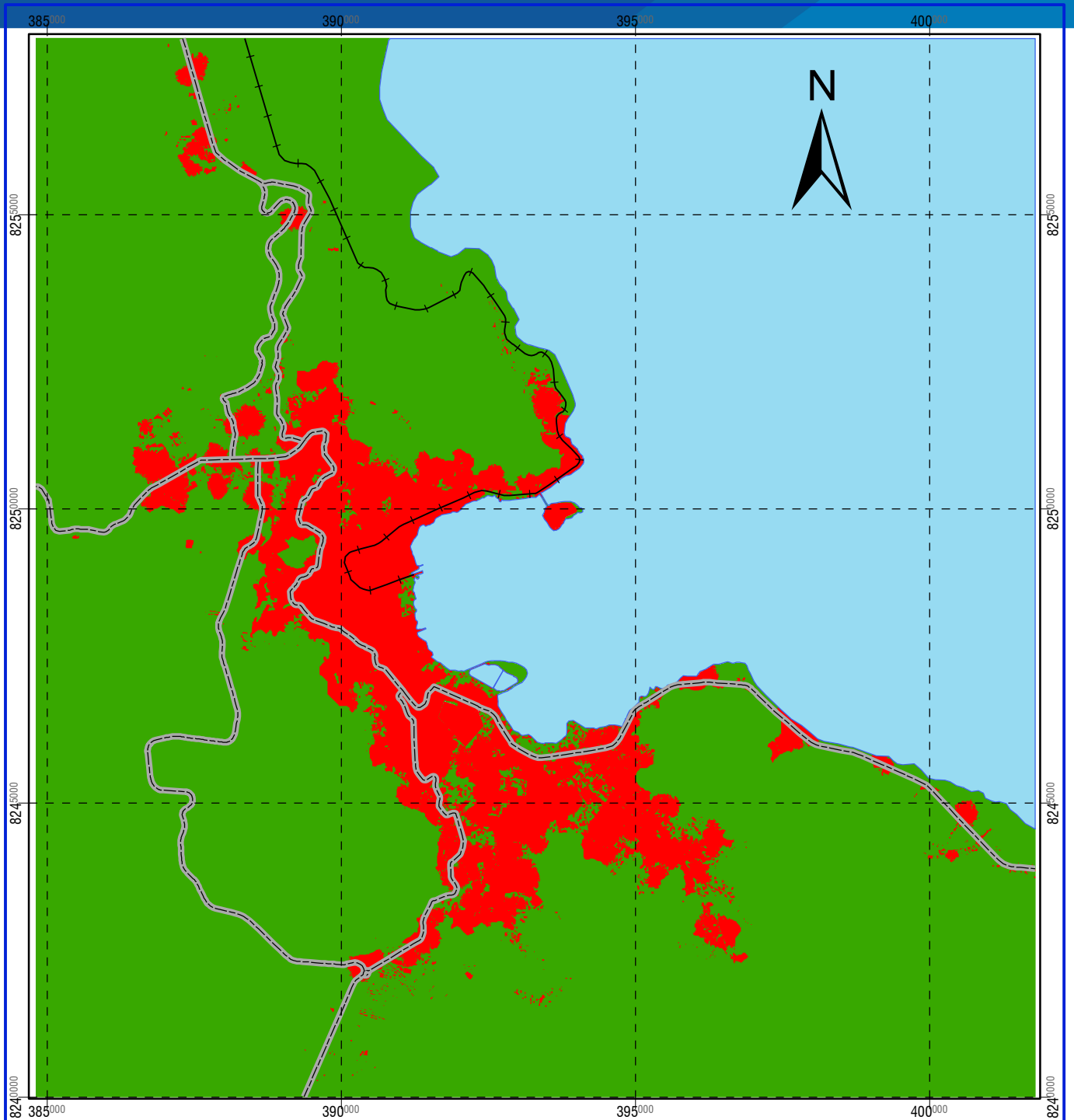
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2059

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2059
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
49	



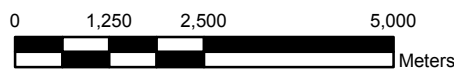
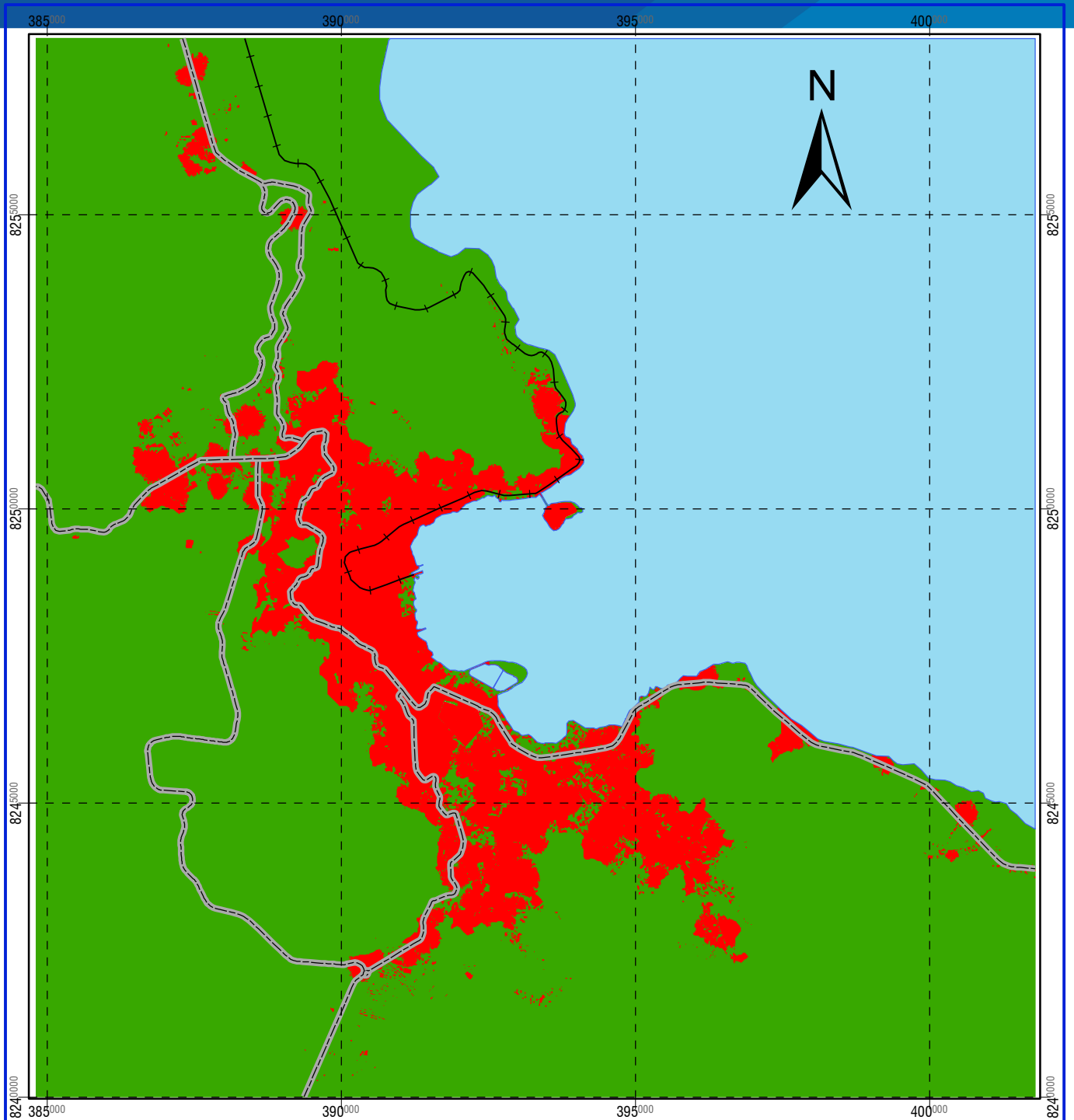
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2060

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2060
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
50	



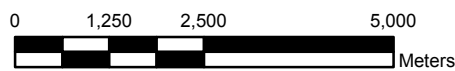
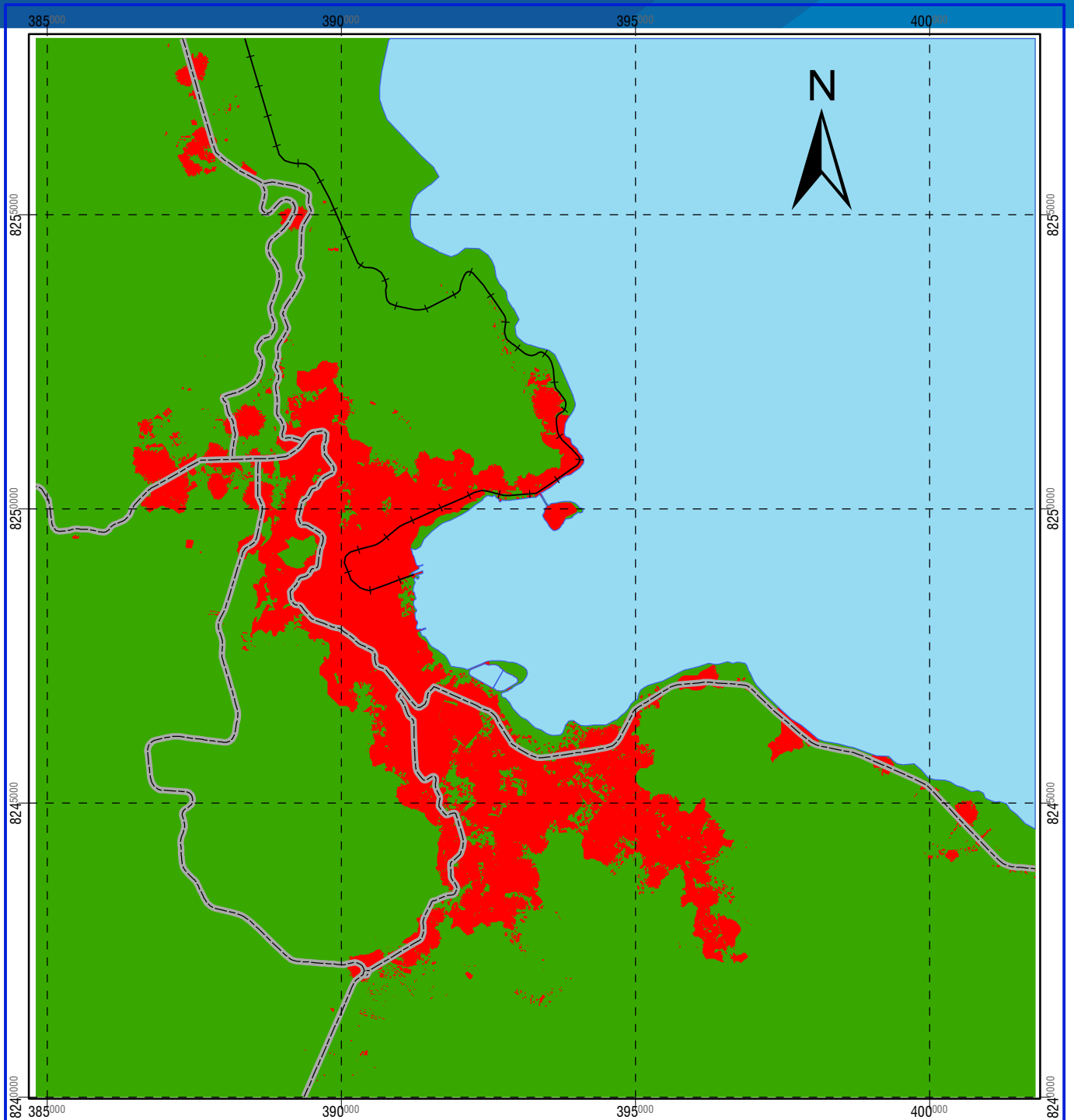
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2061

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2061
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
51	



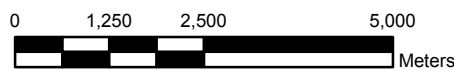
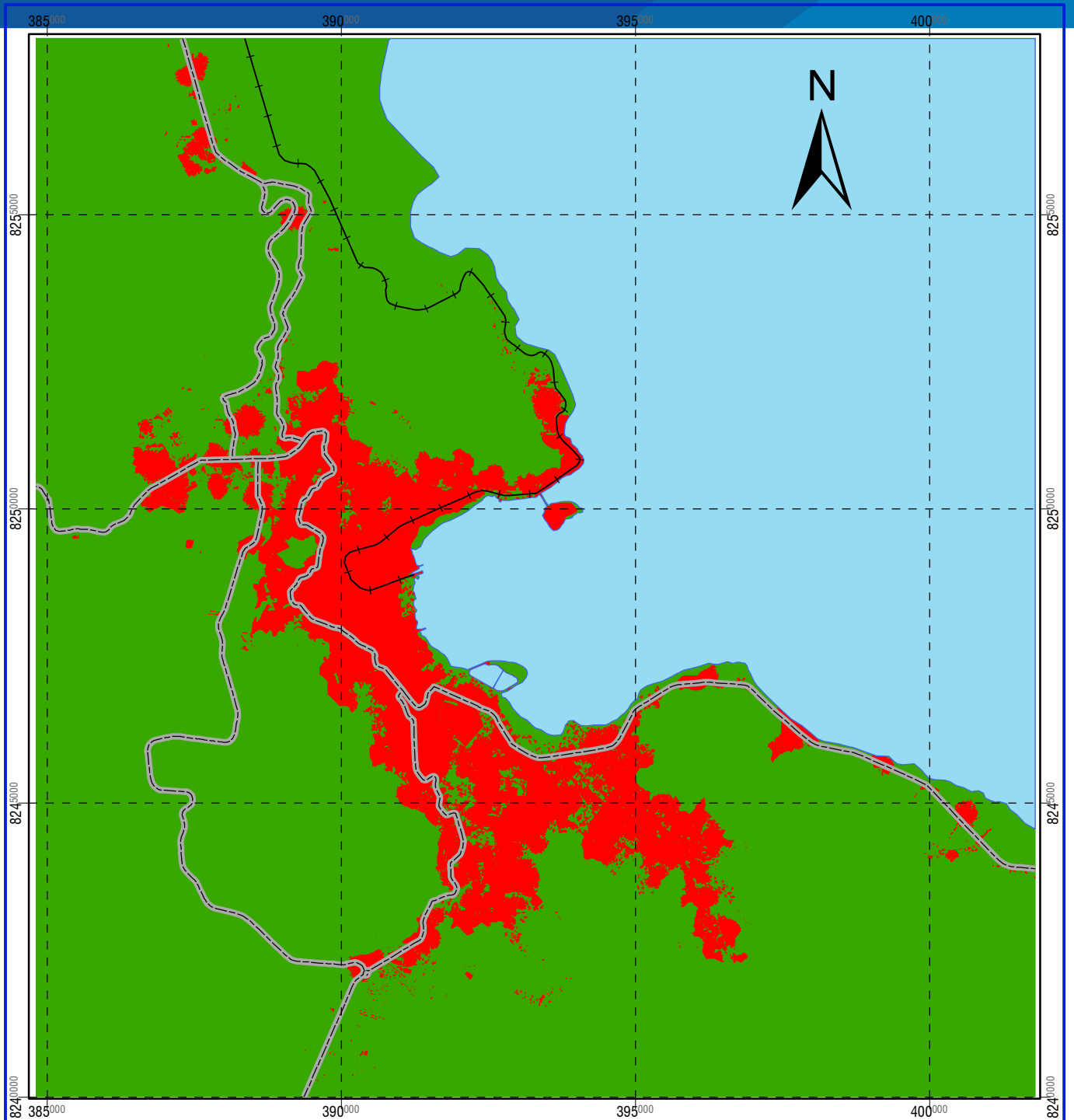
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2062

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2062
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
52	



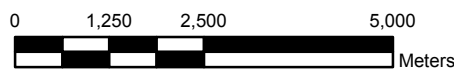
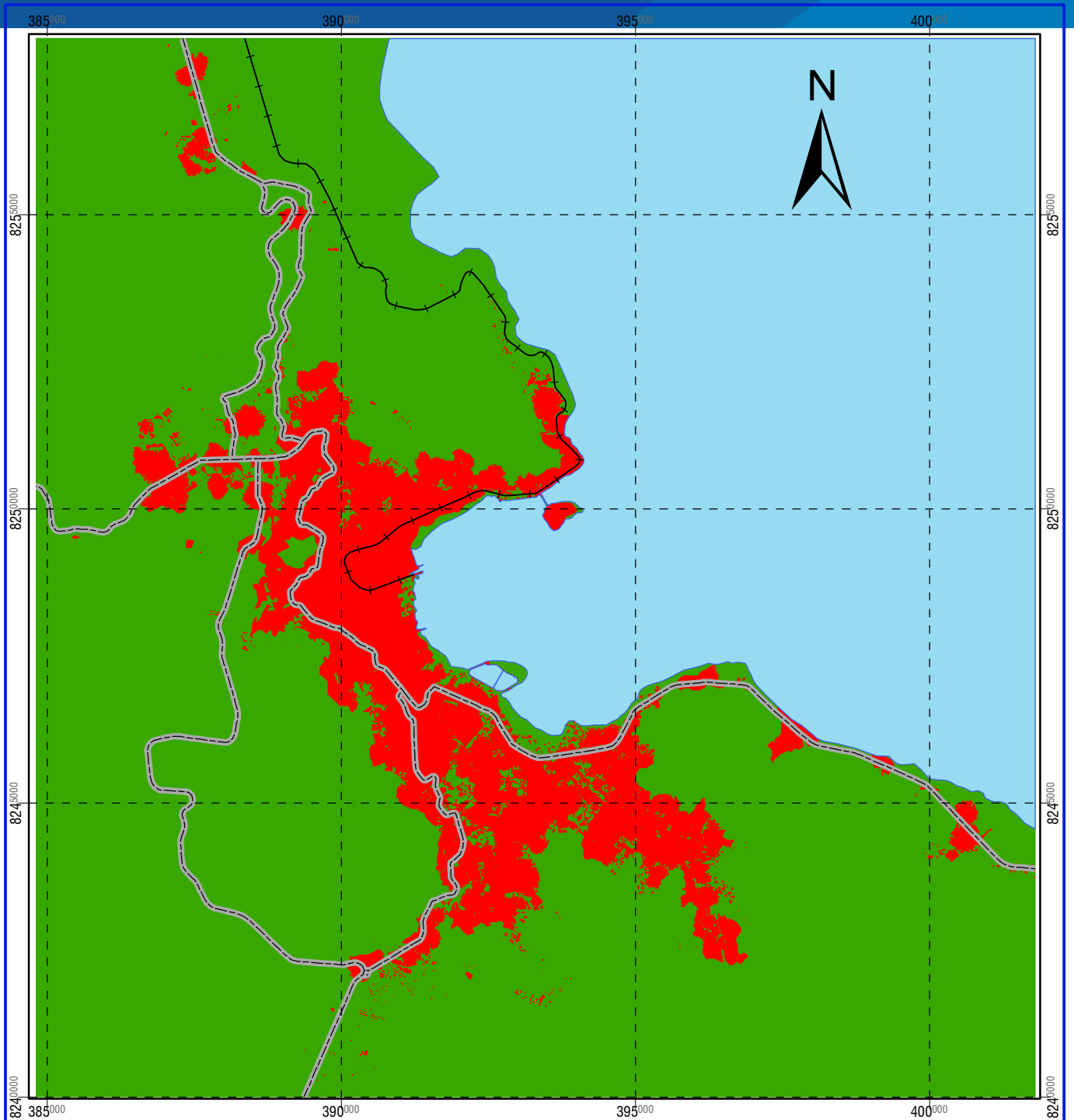
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL

AU_2063

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2063
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
53	



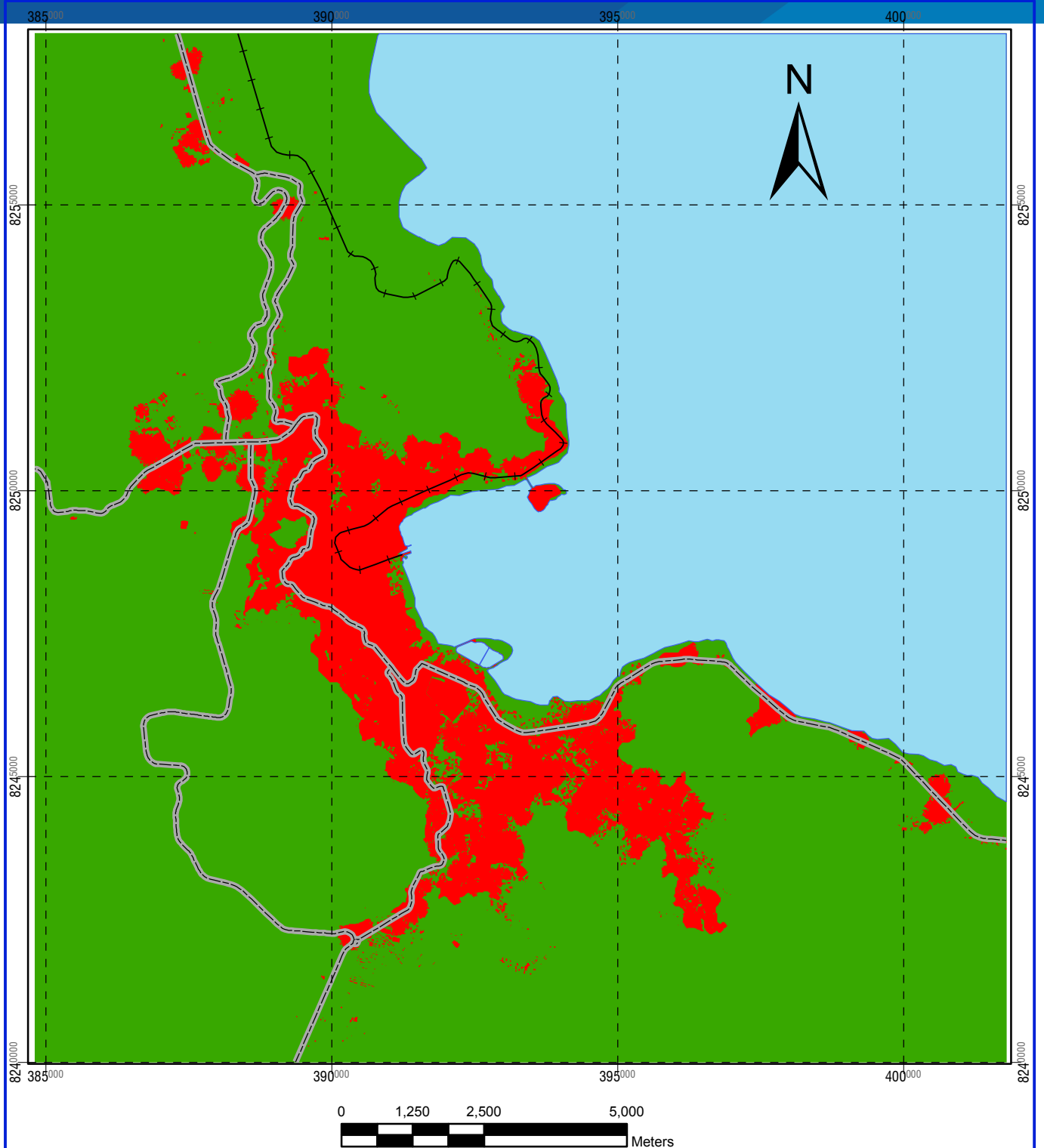
LEYENDA

- VIAS_PRINCIPALES
- FERROCARRIL






AU_2064

- URBANO
- NO URBANO
- LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA:	AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2064
ELABORADO POR:	DATUM:
Rosmery Anahua Apomayta	WGS - 84
FECHA:	ESCALA:
JULIO 2020	1:100,000
LAMINA:	
54	



LEYENDA

-  VIAS_PRINCIPALES
-  FERROCARRIL
-  URBANO
-  NO URBANO
-  LAGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
Tesis: MODELAMIENTO DINÁMICO ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES EN EL PERIODO 1974 AL 2065 DE LA CIUDAD DE PUNO.	
MAPA: AREA URBANA SIMULADO AL AÑO 2065	LAMINA:
ELABORADO POR: Rosmery Anahua Apomayta	DATUM: WGS - 84
FECHA: JULIO 2020	ESCALA: 1:100,000
55	