

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil



TESIS

“Monitoreo de crecimiento urbano durante el desarrollo de infraestructura de gran escala en la Amazonía peruana. El caso de Yurimaguas”

Para obtener el título profesional de Ingeniero Civil.

Elaborado por

Arturo Rogger Turpo Barrios

 [0009-0003-8135-474X](https://orcid.org/0009-0003-8135-474X)

Asesor

Mag. Vlademir Alcides Lozano Cotera

 [0009-0009-9977-472X](https://orcid.org/0009-0009-9977-472X)

Asesor externo

MAUD. Juan Carlos Cristaldo Moniz de Aragao

 [0000-0001-6966-8787](https://orcid.org/0000-0001-6966-8787)

Lima – Perú

2024

Citar/How to cite	Turpo Barrios [1]
Referencia/Reference	[1] A. Turpo Barrios, "Monitoreo de crecimiento urbano durante el desarrollo de infraestructura de gran escala en la Amazonía peruana" [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Turpo Barrios, 2024)
Referencia/Reference	Turpo Barrios, A. (2024). <i>Monitoreo de crecimiento urbano durante el desarrollo de infraestructura de gran escala en la Amazonía peruana</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

© 2024, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados
"El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos."

Turpo Barrios, Arturo Rogger

aturpob@uni.pe

986140098

DEDICATORIA

Para María y Arturo, mis padres, por su amor sin límites.
Ellos me brindaron las alas que con tantos años y esfuerzo se construyeron.
Se las quitaron y me las pusieron. Me dieron el mejor regalo desde que era niño:
la libertad para explorar lo que mi curiosidad precisara

Para Graciela, Yuver y Rocio,
mis hermanos mayores,
por su amor protector y las lecciones de vida

Para Alexis, Vicenta, Nicol, Andrés y Fidel,
mi familia cuando llegué a Lima,
por su generosidad y tolerancia

Para mis sobrinos: Carlos, Diego, Abigail, Sophia y Luana
por el tiempo que me ausenté,
por revelarme mis errores y ayudarme a madurar

Finalmente, quiero dedicar esta tesis al niño de Villa El Polvorín en Carabayllo,
quien, al verme vestido con un chaleco de la UNI mientras realizaba trabajo de
campo en su barrio, me preguntó: ¿eres realmente de la UNI?

Sí, respondí, ahí estudié.

Me miró, sonrió y se puso a gritar: ¡mamá, mamá... mira... mi sueño!

Me rompió el corazón.

Varios años han pasado desde entonces.

Esta tesis está dedicada a todos los niños y niñas con el mismo sueño.

AGRADECIMIENTOS

María Barrios y Arturo Turpo, mis padres, fueron los primeros en apostar por mis sueños. Su apoyo incondicional es un ejemplo que vivirá en mí. La trascendencia de sus esfuerzos en mi vida es inmensa. A ellos les estaré siempre agradecido. Asimismo, agradezco a toda mi familia, de Puno y de Lima, por su apoyo incansable durante todos estos años.

Agradezco a Vlademir Lozano, profesor de la Universidad Nacional de Ingeniería, quien me acompañó como asesor en este largo camino. Vlademir tuvo la gentileza de permitirme asistir a su cátedra de Evaluación de Impacto Ambiental, siendo yo un egresado de la universidad. Asimismo, me brindó varias reuniones en su tiempo libre, antes incluso de que fuera mi asesor, cuando la idea era aún elemental. Él siempre tuvo palabras de ánimo, incluso en momentos críticos para mí.

De igual manera, agradezco profundamente a Juan Carlos Cristaldo, profesor e investigador de la Universidad Nacional de Asunción de Paraguay, quien alimentó mi curiosidad y me inspiró a hacer una investigación relativa a las relaciones entre la infraestructura y el desarrollo urbano. Juan Carlos me brindó amablemente varias reuniones donde compartió sus hallazgos, antecedentes y conceptos sin los cuales esta investigación no habría visto la luz. Además, me ayudó enormemente con una beca para asistir a su curso de “Mapeo territorial con software libre”, donde aprendí sobre el manejo de información geoespacial y cartografía. Gracias a ello me fue más factible el uso de Google Earth Engine y QGIS en esta investigación.

Del mismo modo, me siento muy agradecido con el maestro Nemesio Canelo, profesor emérito de la Universidad Nacional de Ingeniería por las innumerables conversaciones que me brindó en su casa. Su sabiduría y habilidades narrativas me sorprendían cada día. Mi cariño por él sobrepasa enormemente el plano académico, ya que siempre ha estado dispuesto a brindarme palabras de aliento y consejo. Fue con su guía con que inicié este largo proceso de investigación.

Por otra parte, agradezco a la Municipalidad Provincial de Alto Amazonas, al alcalde Hugo Del Águila por atender a mis cartas solicitando información en el año 2022, y en forma especial al personal de ese entonces de las áreas de Desarrollo Urbano, Archivo, y Biblioteca, por su apoyo con la recolección de información para

esta investigación. Un agradecimiento especial para los funcionarios municipales Percy Vilca, Roger Del Águila y Clein Bautista, cuya amabilidad me ayudó a continuar en un lugar hasta entonces desconocido para mí. Clein Bautista además de prestarme su apoyo en la búsqueda de documentos en el Archivo Municipal, me ayudó a recorrer los alrededores de la ciudad de Yurimaguas. Asimismo, agradezco a Adilia Montalván, Cleidherly Bautista, y Bryan Zuta por su generosidad al mostrarme un poco de la vida cotidiana en Yurimaguas.

Agradezco enormemente al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil (IIFIC) de la Universidad Nacional de Ingeniería. Que me acogió en sus espacios a lo largo de este proceso. Agradezco a sus directores Dr. Miguel Torres Matos, Dra. Ada Arancibia Samaniego, Dr. Leonardo Castillo Navarro, Dr. Alberto Mosquera Leiva por el respaldo institucional en documentos como la carta de presentación antes de mi viaje a Yurimaguas, y otros necesarios para la recolección de información ante otras instituciones. Les agradezco también por sus consejos. De igual modo, agradezco a Diana Romero y Ulisa Paredes quienes siempre fueron muy amables conmigo desde la administración de IIFIC. Asimismo, quisiera agradecer al Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), especialmente al Dr. Miguel Estrada Mendoza y Dr. Miguel Diaz Figueroa quienes fueron mis profesores y tutores de prácticas. En sus espacios conocí investigadores con quienes compartí muchos momentos agradables: Lucio Estacio, Erick Zavala, Nadia Macavilca, entre otros.

Agradezco en gran medida a Miguel Uquichi y Teresa Belkow, por haberme permitido trabajar a su lado en algunas experiencias de investigación y planificación urbana. Esto, junto al intercambio de conocimientos y motivación en el Grupo de Investigación en Territorio, Infraestructura, Planificación y Sociedad - KAWSAY TIPS de la UNI, me permitió tener mayor confianza como investigador al abordar la ciudad de Yurimaguas (inexplorada por mi hasta comenzar la tesis).

Por último, no habría podido terminar esta tesis de no ser por los amigos que me apoyaron cuando más lo necesitaba: Judith Paredes, Joel Chuquihuaccha, Mark Rondón, Jimmy Centeno, Vanesa López, Doris Tuesta, Raúl Loayza, Ronald Castro, José Gonzales, Fred Espinoza, Diego Miranda, Juan Urteaga, Brajan Nieto, Betzy Tapia, José Lucero, Fernando García, Milene Pulido, Yonathan Calsina, Noel Villanueva, Alvaro Loayza y Bryan Salcedo. A todos ellos, gracias por su amistad.

RESUMEN

La Iniciativa para la Integración de Infraestructura Regional Suramericana (IIRSA) es uno de los megaproyectos más ambiciosos del mundo. Su corredor de transporte bioceánico 'Eje Amazonas' cruza todo el continente de este a oeste. Una de las rutas de este corredor tiene como parada obligatoria la ciudad de Yurimaguas (Loreto, Perú); donde el transporte cambia de modo terrestre a hidrovial a través de un puerto fluvial. Aunque el desarrollo de redes de transporte es una causa reconocida del crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*), en el caso de Yurimaguas, siendo un lugar de parada obligatoria del corredor, el comportamiento dinámico del crecimiento urbano durante el desarrollo de infraestructura del corredor no ha sido evaluado. Por ello, esta investigación tuvo como objetivo principal describir el cambio de patrones de crecimiento urbano de Yurimaguas (una ciudad fluvial en la Amazonía) durante el desarrollo de infraestructura de gran escala de IIRSA-Eje Amazonas a través de un monitoreo espacio-temporal de la cobertura de suelo. Para abordar el tema, el desarrollo progresivo del corredor de infraestructura de gran escala de IIRSA-Eje Amazonas en el caso de estudio ha sido descrito usando los proyectos individuales sobreponiéndolos en una línea de tiempo. Luego, datos de cobertura de suelo fueron producidos a partir de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 de 30m de resolución espacial cada cinco años por un lapso de 30 años (1992, 1997, 2002, 2007, 2012, 2017 and 2022), procesadas en un Sistema de Información Geográfica (SIG). A partir de ello, la detección de cambio urbano fue realizada en seis periodos de 5 años cada uno. Finalmente, métricas espaciales para cuantificar el grado de crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*) fueron calculadas: Permeabilidad Urbana (UP) y Proliferación Urbana Ponderada (WUP). Los resultados de esta investigación indican que durante el desarrollo de infraestructura de IIRSA-Eje Amazonas, la ciudad de Yurimaguas ha crecido 88.4% (525.42 Ha) en cantidad de superficie urbana, y aumentado el grado de crecimiento urbano disperso en 117.2% (2.94 UPU/m²) entre 2007 y 2022, según las métricas de Área Total Urbana (AUT) y Permeabilidad Urbana (UP), respectivamente. Los mayores incrementos de superficie urbana y grado de crecimiento urbano disperso durante el ciclo de IIRSA se dieron en tres periodos: [1] 2012-2017, lapso en el que se ejecutaron dos obras importantes para un mismo proyecto del nuevo puerto: [i] la construcción de la vía de acceso al puerto (el cual incluyó el puente Paranapura) y [ii] la construcción del Terminal Portuario Yurimaguas-Nueva Reforma. El segundo periodo de mayor crecimiento se dio en

[2] 2007-2012, periodo en el que se ejecutó la carretera Tarapoto-Yurimaguas, como parte del corredor vial Paita-Yurimaguas. El tercer periodo de mayor crecimiento fue [3] 2017-2022, periodo en el que el corredor de gran escala ya se encontraba en funcionamiento parcial, aunque no se haya terminado totalmente. A partir de la evidencia se concluye que, en Yurimaguas se está produciendo un crecimiento urbano acumulativo durante el desarrollo del corredor multimodal IIRSA-Eje Amazonas, reflejado en las métricas de Área Urbana Total (AUT) y Permeabilidad Urbana (UP). Esto es, en la medida que se va desarrollando el corredor de gran escala por partes de forma progresiva, i) la cantidad de superficie urbana y ii) el grado de crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*) de Yurimaguas van en aumento; pero en periodos de ejecución de obras de infraestructura estas variables muestran una intensificación. Asimismo, esta intensificación ocurre también a medida que el corredor entra en funcionamiento de manera incremental. Por otro lado, esta investigación es un caso de estudio exploratorio sobre la cuantificación del crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*) en una ciudad fluvial amazónica del Perú, y ha dado resultados acerca del uso de las métricas UP y WUP en dicho alcance. La métrica UP se ha encontrado apropiada al capturar el incremento continuo del grado de crecimiento urbano disperso en el caso de Yurimaguas, en cambio WUP no ha tenido ese comportamiento. Esto se podría deber a que la función del factor de ponderación w_2 que usa WUP ha sido construido con valores de densidad poblacional suiza. Para el uso de la métrica WUP de forma confiable hace falta una calibración de la función del factor de ponderación w_2 .

Palabras clave: crecimiento urbano disperso, infraestructura IIRSA, teledetección, SIG, métricas espaciales

ABSTRACT

The Initiative for Regional Infrastructure Integration in South America (IIRSA) is one of the most ambitious megaprojects in the world. Its Amazonian Hub corridor crosses the whole continent east-west. One route of this corridor has a must-stop city, Yurimaguas (Peru), where the transportation mode changes from roadway to waterway through a port. Even though transport networks development is a recognized cause of urban sprawl, urban growth dynamics of Yurimaguas city during large-scale infrastructure development has not been assessed. Thus, this research aimed to describe the urban growth patterns change during the IIRSA large-scale infrastructure development in Yurimaguas (a small city of Peruvian Amazonia) using spatiotemporal monitoring of land cover. In order to do that, the progressive process of large-scale infrastructure development was described through individual projects overlapping them in a timeline. Then, land cover data was produced from Landsat 5 and Landsat 8 satellite images of 30m resolution each 5 years from 1992-2022 (1992, 1997, 2002, 2007, 2012, 2017 and 2022) using a Geographical Information System (GIS). After that, urban change was detected in six 5-year periods. Finally, spatial metrics for urban sprawl quantification were calculated: Urban Permeability (UP) and Weighted Urban Proliferation (WUP). Results indicate that during IIRSA large-scale infrastructure development, Yurimaguas city had grown 88.4% (525.4 Ha) in urban surface and 117.2% (2.94 UPU/m²) in urban sprawl degree since 2007 to 2022, according to Urban Area (UA) and Urban Permeation (UP) metrics respectively. The largest increases of urban surface and urban sprawl degree were experienced in three periods: [1] 2012-2017: period when a new highway to get the port and the port itself were built. [2] 2007-2012: period when a national highway to connect Yurimaguas with the national road system was built. And [3] 2017-2022, period when the large-scale corridor is partially functioning though is not fully finished. Based on the empirical evidence, this research concludes that, in Yurimaguas a cumulative urban growth is taking place during IIRSA large-scale infrastructure development, depicted by the metrics of Urban Area (UA) and Urban Permeation (UP). Indeed, the more advanced (in a progressive form) the large-scale corridor is, i) the amount of urban surface and ii) urban sprawl degree of Yurimaguas increase. However, during infrastructure execution stages, these variables are highlighted. Moreover, this highlighted effect is also produced as long as the corridor comes into operation incrementally. In addition, this research is an explorative case study about quantification of urban sprawl in a riverfront

Amazonian city of Peru and had tested UP and WUP metrics preliminarily to this end. UP had been found appropriate to capture urban sprawl changes in Yurimaguas. In contrast, WUP could report misleading results due to w_2 weighting factor function was built with Swiss population density values. This weighting factor function should be calibrated with Peruvian values before using WUP in a reliable way.

Keywords: urban sprawl, IIRSA infrastructure, remote sensing, GIS, spatial metrics

PRÓLOGO

El conflicto entre la puesta de infraestructura de gran escala y el crecimiento urbano disperso es latente en nuestro país. Pese a la frecuencia con que se presentan estos conflictos, los estudios y reflexión de estos problemas son escasos. Es ahí donde entra este trabajo, cuyo autor ha utilizado hábilmente como caso de estudio a la ciudad fluvial de Yurimaguas, y al desarrollo de la infraestructura del corredor multimodal IIRSA Eje-Amazonas, que en estos últimos años ha resonado debido a la discusión sobre la Hidrovía Amazónica.

Del mismo modo, los atractivos de este trabajo son variados. Primero, aquí podrá encontrar conocimientos generales sobre megaproyectos, un fenómeno global, de los cuales IIRSA es un ejemplo. En efecto, el desarrollo de IIRSA-Eje Amazonas en la parte norte del Perú está descrito en esta investigación de forma detallada y gráfica. También, podrá encontrar una explicación satisfactoria de cómo se puede efectuar un monitoreo de crecimiento de urbano y cuantificar el grado de crecimiento disperso utilizando bajo requerimiento de datos mediante el uso de técnicas de sensores remotos, SIG y métricas espaciales. Esto puede ser muy útil para planificadores urbano-territoriales, gestores ambientales, e investigadores del ambiente edificado en general. Toda actividad que persiga controlar el crecimiento urbano disperso para evitar un perjuicio del medio ambiente, tiene un paso previo: la comprensión de este fenómeno. Este trabajo ofrece una breve incursión en este terreno. Por último, el caso de estudio de Yurimaguas ofrece un ejemplo de cómo el estudio del desarrollo de infraestructura de gran escala en el tiempo es una pieza clave para entender el crecimiento urbano actual. Pese a que la ciudad de Yurimaguas ha sido sometida con anterioridad a tres ciclos económicos de auge y caída (los denominados “boom”), es la primera vez que el ciclo económico está centrado en la infraestructura; de ahí la importancia de contar un *master plan* asociado al impacto de grandes infraestructuras en el territorio que lo rodea.

Es por ello, que invito a todos los lectores a profundizar en esta obra. Y, con igual ímpetu, convoco a todas aquellas disciplinas que trabajan con infraestructura a sumarse al estudio de temas urbanos. Solo así, podremos comprender mejor estos problemas y en consecuencia ofrecer mejores soluciones, optimizar el desarrollo de infraestructura y más importante aún, el desarrollo de nuestro país.

Mg. Ing. Vlademir Alcides Lozano Cotera

ÍNDICE

Resumen	v
Abstract	vii
Prólogo	ix
Lista de tablas	xiv
Lista de figuras	xv
Lista de láminas.....	xviii
Lista de símbolos y siglas	xix
Capítulo I: Introducción	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Descripción del problema de investigación	3
1.2.1. Pregunta de investigación	4
1.2.2. Formulación de la hipótesis.....	4
1.2.3. Justificación	4
1.3. Objetivos del estudio	5
1.3.1. Objetivo General	5
1.3.2. Objetivos Específicos.....	5
1.4. Antecedentes investigativos	6
1.4.1. Infraestructura y territorio	6
1.4.2. Estudios de monitoreo de cambio de cobertura de suelo	8
1.4.3. Integración física por los ríos en Suramérica.....	8
1.4.4. Documentos oficiales del Estado sobre el Eje del Amazonas de IIRSA .	9
Capítulo II: Marco teórico y conceptual	11
2.1. Marco conceptual	11
2.1.1. Infraestructura de gran escala.....	11
2.1.2. Centro poblado urbano	12
2.1.3. Desarrollo urbano	12
2.1.4. Crecimiento urbano y urbanización	13
2.1.5. Monitoreo de crecimiento urbano	13

2.1.6.	Patrón espacial	13
2.1.7.	Sistemas de Información Geográfica (SIG)	13
2.1.8.	Teledetección (Sensores Remotos)	14
2.2.	Marco teórico.....	14
2.2.1.	Globalización e Infraestructura.....	14
2.2.1.1.	IIRSA Eje del Amazonas – IIRSA Norte en el Perú	15
2.2.1.2.	Infraestructura vial: carretera Paita– Yurimaguas.....	19
2.2.1.3.	Infraestructura portuaria: Terminal Portuario Yurimaguas – Nuevo Reforma	19
2.2.1.4.	Infraestructura hidroviaria: Hidrovía Amazónica	19
2.2.2.	Infraestructura y sus efectos en el territorio.....	23
2.2.2.1.	Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)	25
2.2.2.2.	Evaluación Ambiental Estratégica (EAE).....	29
2.2.3.	Crecimiento urbano espacial	29
2.2.3.1.	Patrones y procesos de crecimiento urbano	30
2.2.3.2.	Crecimiento urbano disperso (urban sprawl).....	32
2.2.3.3.	Causas y consecuencias de crecimiento urbano y crecimiento urbano disperso (urban sprawl).....	35
2.2.4.	Desarrollo de infraestructura de transporte y crecimiento urbano disperso (urban sprawl).....	36
2.2.5.	Consideraciones de resolución de imágenes en aplicaciones de crecimiento urbano.....	38
2.2.6.	Mapeo y monitoreo del crecimiento urbano.....	40
2.2.6.1.	Técnicas de detección de cambio urbano	40
2.2.7.	Cuantificación y análisis del crecimiento urbano	41
2.2.7.1.	Matriz de transición	41
2.2.7.2.	Métricas espaciales.....	42
2.2.7.3.	Estadística espacial	45
2.2.8.	Cuantificación del crecimiento urbano disperso (urban sprawl) usando métricas espaciales.....	45

2.2.8.1. Proliferación Urbana Ponderada (WUP).....	47
Capítulo III: Materiales, métodos y caso de estudio	51
3.1. Materiales.....	51
3.2. Métodos.....	53
3.3. Caso de estudio: ciudad de Yurimaguas.....	59
3.4. Ciclos de cambio en Yurimaguas (1880 - actualidad).....	61
3.4.1. Ciclo del caucho (1880-1920)	62
3.4.2. Ciclo del barbasco (1943-1960)	65
3.4.3. Ciclo del petróleo (1970-1990)	66
3.4.4. Un nuevo ciclo de inversión: IIRSA (2000-presente)	68
3.4.4.1. El centro logístico de Yurimaguas	70
3.4.4.2. El nuevo aeropuerto de Yurimaguas	70
3.4.4.3. El parque industrial de Yurimaguas.....	71
3.4.4.4. El proyecto integral de agua y desagüe para la ciudad de Yurimaguas	71
3.5. Síntesis de la evolución de la ciudad de Yurimaguas a través de los ciclos económicos-productivos	71
Capítulo IV: Resultados del caso de estudio.....	75
4.1. Desarrollo de la infraestructura de IIRSA-Eje Amazonas en Yurimaguas.	75
4.2. Clasificación de cobertura de suelo y Reclasificación	79
4.3. Mapa de cambio urbano	80
4.4. Análisis I: Detección de cambios de cobertura urbana.....	82
4.4.1. Área Urbana Total.....	82
4.4.2. Ganancia Urbana	83
4.4.3. Patrones de crecimiento urbano.....	84
4.4.4. Trayectorias de crecimiento urbano	89
4.4.5. Pendientes de terreno de las áreas de crecimiento urbano.....	92
4.5. Análisis II: Grado de crecimiento urbano disperso	95
4.5.1. Grado de Dispersión Urbana (DIS)	96
4.5.2. Densidad poblacional (UD)	97

4.5.3.	Permeabilidad Urbana (UP)	100
4.5.4.	Factor de ponderación W1	102
4.5.5.	Factor de Ponderación W2.....	102
4.5.6.	Proliferación Urbana Ponderada (WUP).....	103
4.6.	Procesos de crecimiento urbano de Yurimaguas (1992-2022).....	105
4.6.1.1.	Crecimiento urbano disperso de ciclo concluyente (1992-1997).....	107
4.6.1.2.	Crecimiento urbano compacto en espera (1997-2007).....	107
4.6.1.3.	Crecimiento Urbano Disperso (Urban Sprawl) en Yurimaguas (2007-2022)	107
	Capítulo V: Discusión de resultados	109
5.1.	Ciclos económicos y crecimiento urbano	109
5.2.	Especulación y crecimiento urbano disperso en Yurimaguas	111
5.3.	Efectos de la Infraestructura en el territorio. El caso de Yurimaguas	117
5.4.	Desarrollo de infraestructura de transporte de gran escala y crecimiento urbano disperso (urban sprawl)	118
5.5.	Cuantificación del cambio de cobertura urbana y mapa de cambio urbano en Yurimaguas	120
5.6.	Cuantificación del grado de crecimiento urbano disperso (urban sprawl) en Yurimaguas	123
5.6.1.	Definición de la cantidad de área edificada: Área Urbana Total (AUT).....	123
5.6.2.	Grado de Dispersión (DIS) y Horizonte de Percepción (HP)	124
5.6.3.	Utilización del área edificada: densidad poblacional (UD)	126
5.6.4.	La métrica Proliferación Urbana Ponderada (WUP) y Permeabilidad Urbana (UP).....	128
5.7.	Proceso de crecimiento urbano disperso de Yurimaguas (2007-2022) ...	132
	Conclusiones	136
	Recomendaciones	145
	Referencias bibliográficas.....	151
	Anexos	164

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Diferencia entre la navegabilidad de los ríos amazónicos y de la hidrovía	20
Tabla 2.	Características de la nave de diseño y su organización en convoyes	21
Tabla 3.	Instrumentos de Gestión Ambiental de los proyectos de infraestructura del caso de estudio	27
Tabla 4.	Causas de crecimiento urbano que resultarían en crecimiento urbano compacto o disperso	35
Tabla 5.	Escalas de aplicación para imágenes de sensores remotos de diversas fuentes y resoluciones espaciales	39
Tabla 6.	Ejemplo de matriz de transición entre las fechas t_1 y t_2 para una clasificación de cobertura con 6 clases	42
Tabla 7.	Ejemplos de métricas espaciales (métricas de paisaje)	44
Tabla 8.	Imágenes adquiridas usando Google Earth Engine y sus características de resolución	51
Tabla 9.	Definición de clases de cobertura de suelo utilizadas en la clasificación supervisada de Yurimaguas	54
Tabla 10.	Matriz de error de cuatro clases en términos de proporción de área (p_{ij})	56
Tabla 11.	Métricas usadas para cuantificar el crecimiento urbano de Yurimaguas	58
Tabla 12.	Períodos históricos de inversión o ciclos económicos-productivos en la Amazonía peruana	61
Tabla 13.	Porcentajes de cobertura de suelo según clase para el área de estudio de Yurimaguas	79
Tabla 14.	Resultados de la evaluación de precisión de la clasificación supervisada de Yurimaguas	80
Tabla 15.	Valores de las métricas de Área Total Urbana y Ganancia Urbana en Yurimaguas	82
Tabla 16.	Patrones de crecimiento urbano de Yurimaguas más resaltantes entre 1992-2002	88
Tabla 17.	Valores de la métrica Proliferación Urbana Ponderado (WUP) y sus factores para la ciudad de Yurimaguas en los años 1992, 1997, 2002,2007, 2012, 2017 y 2022	96
Tabla 18.	Valores de Población Urbana, Área urbana total y densidad Poblacional en Yurimaguas entre 1992 y 2022	99

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.	Izquierda: Una ruta del corredor bioceánico de IIRSA-Eje Amazonas, resaltando Yurimaguas como el lugar de cambio de modo de transporte. Derecha: Gráfico conceptual del nodo de intercambio modal en la ciudad de Yurimaguas	2
Figura N° 2.	Proyectos del Eje Amazonas de IIRSA	16
Figura N° 3.	Sistema funcional logístico del Perú al 2014	17
Figura N° 4.	Proyectos de IIRSA-Eje Amazonas en uno de los corredores que une Paita e Iquitos	18
Figura N° 5.	Esquema de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos	26
Figura N° 6.	Diagrama esquemático de los 5 tipos de patrones de crecimiento urbano basado en Wilson et al (2003): relleno, expansión, aislado, de rama agrupada y de rama lineal	31
Figura N° 7.	Esquema explicativo del concepto de crecimiento urbano disperso (a) basado en tres dimensiones para su definición (b)	34
Figura N° 8.	Ejemplo de detección de cambio urbano usando la técnica 'Clasificación de imágenes y comparación post-clasificación': en (a) y (b) se presentan Imágenes clasificadas en los tiempos t1 y t2 respectivamente; y, en (c) se presenta el mapa de cambio urbano basado en (a) y (b)	41
Figura N° 9.	Esquema del proceso de cálculo de la métrica Proliferación Urbana Ponderada (WUP)	48
Figura N° 10.	Representación del cálculo de la métrica DIS y horizonte de percepción (HP)	49
Figura N° 11.	Esquema de procedimientos usados en la presente investigación	53
Figura N° 12.	Vista parcial de la zona oriental de Yurimaguas, tomada desde lejana altura	64
Figura N° 13.	Infografía de inversiones en infraestructura que afectan Yurimaguas en el ciclo de IIRSA(2000-adelante)	69
Figura N° 14.	Fases evolutivas de la ciudad e Yurimaguas y su relación con los ciclos de auge de la Amazonía peruana	72

Figura N° 15.	Gráficas de las métricas Área Urbana Total y Ganancia Urbana en el monitoreo de crecimiento urbano de Yurimaguas	83
Figura N° 16.	Visualización de tipos de patrones de crecimiento urbano en Yurimaguas en los periodos 1992-1997 (a) y 1997-2002 (b)	85
Figura N° 17.	Visualización de tipos de patrones de crecimiento urbano en Yurimaguas en los periodos 2002-2007 (c) y 2007-2012 (d)	86
Figura N° 18.	Visualización de tipos de patrones de crecimiento urbano en Yurimaguas en los periodos 2012-2017 (e) y 2017-2022 (f)	87
Figura N° 19.	Gráficas de la métrica de Proliferación Urbana Ponderada y sus factores usadas para describir el grado de crecimiento urbano disperso de Yurimaguas	95
Figura N° 20.	Gráfica de la variación de la métrica de dispersión (DIS) en la ciudad de Yurimaguas, por periodos quinquenales entre 1992-2022	97
Figura N° 21.	Proyección de crecimiento poblacional de Yurimaguas	98
Figura N° 22.	Gráfica de variación de la densidad poblacional (UD) en hab/Ha de la ciudad de Yurimaguas por quinquenio entre 1992-20022	99
Figura N° 23.	Comparación de gráficos de incrementos de las métricas Permeabilidad Urbana (a) y Ganancia Urbana (b) en la ciudad de Yurimaguas por quinquenio entre 1992-20022	101
Figura N° 24.	Comparación de los gráficos de Variación de las métrica Proliferación Urbana Ponderada -WUP (a) y Permeabilidad Urbana -UP (b) de la ciudad de Yurimaguas por quinquenio entre 1992-20022	104
Figura N° 25.	Gráficas de los cambios en la ciudad de Yurimaguas a través de las métricas AUT, DIS, UP, UD y WUP: a) variación del Área Total Urbana (denominada Ganancia Urbana); b) variación del grado de dispersión (DIS); c) variación de la Permeabilidad Urbana (UP); d) Variación de la densidad poblacional (UD); y Proliferación Urbana Ponderada (WUP)	106
Figura N° 26.	Diferentes tramas urbanas en la ciudad de Yurimaguas detectadas al 2015	113

Figura N° 27.	Asentamientos poblacionales en la ciudad de Yurimaguas al 2015	114
Figura N° 28.	Tipología de Ocupaciones de suelo urbano en el Perú	115
Figura N° 29.	Comparación entre el área urbana detectada 2002 y la delimitada por el PDU 2001	120
Figura N° 30.	Evolución físico-espacial de Yurimaguas en diversos años: PDU 2015 (a) comparado con el monitoreo de crecimiento urbano de esta investigación (b)	121
Figura N° 31.	Comparación de trayectorias de crecimiento urbano en Yurimaguas. a) detectadas por el PDU 2015 (A, B, C); y, b) detectadas en esta investigación (1,2,3,4,5)	122
Figura N° 32.	Visualización de horizontes de percepción de 2 km y 5 km para el área urbana de Yurimaguas 2012	124
Figura N° 33.	Gráfico de comparación de las métricas DIS (a) y UP (b) para diferentes horizontes de percepción de 2 km y 5 km	125
Figura N° 34.	Análisis del factor de ponderación w_2 con diferentes funciones de ponderación	131

LISTA DE LÁMINAS

Lámina N° 1.	Ubicación de la ciudad de Yurimaguas	60
Lámina N° 2.	Fases de desarrollo de infraestructura del corredor IIRSA- Eje Amazonas en Yurimaguas	76
Lámina N° 3.	Clasificación de cobertura de suelo de suelo de Yurimaguas 1992-2022	78
Lámina N° 4.	Monitoreo de crecimiento urbano de Yurimaguas entre 1992-2022	81
Lámina N° 5.	Trayectorias de crecimiento urbano de Yurimaguas entre 1992-2022	90
Lámina N° 6.	Pendientes de terreno según área de crecimiento urbano (1992-2007)	93
Lámina N° 7.	Pendientes de terreno según área de crecimiento urbano (2007-2022)	94
Lámina N° 8.	Comparación de las áreas de crecimiento urbano de Yurimaguas (2012 - 2022) frente a PDU 2015-2025	116

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AUT, A_{urbana}	: Área Urbana Total
$A_{edificada}$: Área edificada
$A_{reporte}$: Área de reporte
b	: Ancho de la celda de un ráster
d_{ij}	: Distancia entre los centros de la celda i y la celda j
DIS	: Grado de dispersión urbana
HP	: Horizonte de Percepción
Ha	: Hectárea
hab	: Habitantes
km	: kilometro
m	: metro
m^2	: metro cuadrado
N	: Tamaño de universo de datos
$N_{hab-trab}$, INH+J	: Número de habitantes y trabajos
n	: número total de celdas urbanas de ancho b
n_i	: número de celdas urbanas localizadas dentro del horizonte de percepción de la celda urbana j
O	: Precisión general de la clasificación supervisada
P_1	: Precisión del productor de la clasificación supervisada para la clase 1 (clase urbana)
S(o)	: Error estándar general esperado de la clasificación sup.
t_i	: tiempo "i"
TM	: toneladas métricas
U_i	: Precisión esperada de clase i
U_1	: Precisión del usuario de la clasificación supervisada para la clase 1 (clase urbana)
UPU	: Unidades de Permeabilidad Urbana
UD	: Densidad poblacional
USD	: United States Dollar (Dólares Estadounidenses)
UP	: Permeabilidad Urbana
\bar{x}	: Posición de una celda aleatoria "x" dentro del área urbana
\bar{y}	: Posición de una celda aleatoria "y" dentro del área urbana
w1	: Factor de ponderación en función de DIS
w2	: Factor de ponderación en función de UD

W_i	: Proporción de área de clase 1 (clase urbana)
W_2	: Proporción de área de clase 2 (clase no urbana)
WUP	: Proliferación Urbana Ponderada
WCC(b)	: Factor de contribución entre celdas, es una función del ancho de celda 'b' en un ráster
$\Delta(i-j)$: Variación entre las fechas i y j
$ \bar{x} - \bar{y} $: Distancia entre las celdas x e y
$f(\bar{x} - \bar{y})$: Función que define el esfuerzo para medir el crecimiento disperso entre un par de celdas x e y
ADI	: Asociación de Desarrolladores Inmobiliarios
BID	: Banco Interamericano de Desarrollo
CBD	: Central business district (barrio central de negocios)
CITA UTEC	: Centro de Investigación y Tecnología del Agua de la Universidad de Ingeniería y Tecnología
CIDI FADA UNA	: Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Artes de la Universidad Nacional de Asunción
COHIDRO	: Concesionaria Hidrovía Amazónica SA
COPAM	: Concesionaria Puerto Amazonas SA
CORPAC	: Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial
COSIPLAN	: Consejo Suramericano de Infraestructura y Planeamiento
DEM	: Digital Elevation Model (Modelo Digital de Terreno)
DIA	: Declaración de Impacto Ambiental
DDT	: Dicloro – Difenil - Tricloroetano
EAE	: Evaluación Ambiental Estratégica
EASCE	: Evaluación Ambiental y Social con carácter Estratégico del área de influencia del Plan Hidroviario Comercial Peruano
EDI	: Estudio Definitivo de Ingeniería
EIA	: Evaluación de Impacto Ambiental
EIA-d	: Estudio de Impacto Ambiental Detallado
EIA-sd	: Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado
ENAPU	: Empresa Nacional de Puertos
GEE	: Google Earth Engine
GOREL	: Gobierno Regional de Loreto
HPP	: Hidrovía Paraguay-Paraná

IDESUNI	: Instituto para el Desarrollo de los Servicios Urbanos y Locales
IGA	: Instrumento de Gestión Ambiental
IIRSA	: Integración de la Infraestructura Regional Suramericana
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática
INADUR	: Instituto Nacional de Desarrollo Urbano
IRS	: Indian Remote Sensing Satellites (Satélites de India para el sensoramiento remoto)
MEF	: Ministerio de Economía y Finanzas del Perú
MINAM	: Ministerio del Ambiente del Perú
MPAA	: Municipalidad Provincial de Alto Amazonas
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú
MVCS	: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio)
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica)
ONU	: Organización de las Naciones Unidas
OSITRAN	: Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte
PDSL	: Plan de Desarrollo de Servicios Logísticos de Transporte
PDU	: Plan de Desarrollo Urbano
PNIC	: Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad 2019
PNISC	: Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad 2022 – 2025
PROINVERSIÓN	: Agencia de Promoción de la Inversión Privada
RATDUS	: Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano Sostenible
SARS-IFSA	: South American Riverway System -Integración Fluvial de Sudamérica
SCP	: Semi-Automatic Classification Plugin (Complemento de Clasificación Semiautomática)
SEIA	: Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental

SENACE	: Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles
SIG	: Sistema de Información Geográfica
SICCEP	: Sistema de Ciudades y Centros Poblados
SPOT	: Satellite Pour l'Observation de la Terre (Satélites para la Observación de la Tierra)
TOA	: Top-of-Atmosphere (Reflectancia sobre la Atmósfera)
USGS	: United States Geological Survey (Servicio de estudio Geológico de los Estados Unidos)
USM	: Urban Sprawl Metrics (Métricas de crecimiento urbano disperso)
WSL	: Instituto Federal Suizo de Investigación en Bosques, Nieve, y Paisajes
ZEE	: Zonificación Económica y Ecológica

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

Cada año en el mundo se están ejecutando más proyectos de varios miles de millones (10^9) de dólares, menciona Flyvbjerg (2014) y los denomina como “megaproyectos”. De hecho, el mercado de estos proyectos tiene una inversión mundial de 6-9 billones (10^{12}) de dólares al año (incluyendo áreas como infraestructura, Tecnologías de la Información y Comunicación, megaeventos como las Olimpiadas, energía (petróleo y gas), minería, industria aeroespacial, entre otras áreas). De esta forma, las iniciativas de infraestructura para la integración física dentro de un país o entre varios países –en ocasiones de todo un continente- están en desarrollo en todo el mundo; como la red de transporte que conecta toda Europa (*Transeuropean Transport Network*) propuesta por la Unión Europea y que está proyectada para terminar el 2030 o la Iniciativa para la Integración de Infraestructura Regional Suramericana (IIRSA), que es un mecanismo de los doce países de Sudamérica para impulsar una agenda común en materia de infraestructura de transportes, energía y comunicaciones que viene trabajando desde el año 2000. En Perú, ya se están dando megaproyectos también, entre otros están la Línea 2 del Metro (estimado en 5.34×10^9 dólares) y el Anillo Vial Periférico (estimado en 2.38×10^9 dólares) en Lima y Callao (PROINVERSIÓN, 2023). En pocas palabras, Flyvbjerg (2014) menciona que la inversión en megaproyectos es “la inversión más grande que se ha hecho en la historia de la humanidad”. Si estos megaproyectos son tan importantes, igual de importante es el manejo apropiado de los efectos económicos, sociales y ambientales que puedan generar los megaproyectos (Flyvbjerg, 2014; Flyvbjerg et al., 2003). Sin embargo, contrario a los deseos, la experiencia en megaproyectos de infraestructura muestra “la ley de hierro de los megaproyectos: excederse del presupuesto, excederse del tiempo, excederse una y otra vez “. Lo que evidencia que estos megaproyectos fácilmente pasan por alto sus previsiones, incluyendo también los impactos negativos, o los subestiman y al final terminan causando grandes pérdidas sociales, ambientales y económicas. Este es el caso de *Channel Tunnel* en el Reino Unido o el túnel *AlpTransit* que atraviesa Los Alpes en Suiza (Flyvbjerg, 2014; Stutz, 2013). Según Flyvbjerg et al. (2003),

los Estudios de Impacto Ambiental son restringidos pues “a menudo se limita a un proceso de checklist [...] ignorando efectos interregionales, globales, sistémicos y de largo plazo. [...] Efectos ambientales indirectos o acumulativos, debido a la sinergia -causada, por ejemplo, por la acumulación de impactos de varios proyectos- son raramente discutidos en la declaración de impactos ambientales”.

Actualmente, el megaproyecto de IIRSA se viene desarrollando en toda Suramérica. El ‘Eje Amazonas de IIRSA’ plantea un corredor de infraestructura de transporte que atraviesa el continente de Este a Oeste; y que conecta la costa del Pacífico de Perú con la costa del Atlántico en el Brasil. Este corredor tiene dos modos de transporte y 2 rutas en territorio peruano (Norte y Centro). Una ruta de IIRSA-Norte señala un modo hidroviario a lo largo de los ríos Amazonas, Marañón y Huallaga hasta llegar a Yurimaguas, donde un puerto fluvial hace posible un cambio intermodal y a partir de ahí el transporte terrestre se da a través de una carretera de orden nacional hasta llegar al puerto de Paita, en Piura. Por lo tanto, en Yurimaguas confluyen 3 infraestructuras del corredor de escala continental de IIRSA: una carretera nacional, un puerto fluvial y una hidrovía. Tanto la carretera nacional Paita-Yurimaguas como el Terminal Portuario Yurimaguas-Nuevo Reforma están concesionadas y construidas con miras a IIRSA; la Hidrovía Amazónica está concesionada, y se estaban elaborando sus estudios definitivos para entrar en ejecución en los próximos años, y con ella, entraría en funcionamiento también el megaproyecto de corredor bioceánico: IIRSA-Eje Amazonas (Valdes y Parimbelli, 2013; COSIPLAN, 2017a; OSITRAN, 2018a; OSITRAN, 2018b; OSITRAN, 2022).



Figura N° 1 Izquierda: Una ruta del corredor bioceánico de IIRSA-Eje Amazonas, resaltando Yurimaguas como el lugar de cambio de modo de transporte. Derecha: Gráfico conceptual del nodo de intercambio modal en la ciudad de Yurimaguas.

Nota: Elaboración propia a partir de ECSA (2019). Las flechas azules indican la dirección del flujo del río.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad, hay proyectos de infraestructura de gran escala que producen grandes efectos en ciudades a su paso, como el crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*), por ejemplo; Sin embargo, este efecto (crecimiento urbano) indirecto de largo plazo y acumulativo es raramente discutido en los instrumentos oficiales de evaluación de impactos, como lo mencionó anteriormente Flyvbjerg et al (2003). Por lo que, existe incertidumbre sobre este. De hecho, siendo Yurimaguas un lugar de parada obligatoria del corredor interoceánico de IIRSA, el efecto de crecimiento urbano durante el desarrollo de la infraestructura del corredor IIRSA-Eje Amazonas desde su inicio hasta la actualidad no ha sido explorado a profundidad. Ese es el vacío de conocimiento (el problema).

La implantación de infraestructura de gran escala de IIRSA-Eje Amazonas podría haber generado deterioro ambiental con el tráfico de terrenos y crecimiento disperso debido a las limitadas acciones de planificación urbana y evaluación ambiental. Además, el crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*) es uno de los retos globales más grandes que se busca prevenir en las ciudades ya que hace a estas más vulnerables a desastres (ONU-Habitat, 2017; ONU, 2018), Y más aún en la Amazonía peruana, uno de los ecosistemas más importantes a proteger. No se sabe que pasó porque no se explora cómo es modificado el crecimiento urbano por el desarrollo de proyectos de infraestructura de gran escala en el Perú. Hacen falta modelos (descripciones) de estos efectos evaluados de forma objetiva.

Por otro lado, la incertidumbre sobre ciertos impactos que generan los grandes proyectos se transforma en un riesgo de fracaso para los mismos (Zembri-Mary, 2019; Lozano, 2019) ya que afecta su funcionamiento y desempeño en el tiempo. Si se comprendiera el proceso de crecimiento urbano producido por el desarrollo de infraestructura de gran escala, se podría anticipar futuros impactos y reducir también el riesgo para el megacorredor.

Los posibles efectos urbanos sinérgicos producidos por más de un proyecto de infraestructura no sólo no están cubiertos por planes territoriales o instrumentos de evaluación ambiental y permanecen inciertos; sino que cada vez se hace más importante y urgente la investigación académica. Dada la premura de la iniciativa política para terminar el corredor de IIRSA-Eje Amazonas, una alternativa logística de conexión bioceánica para el mundo; es posible que ello, lejos de representar

bienestar para la región, resulte siendo origen de conflictos locales entre el megaproyecto de utilidad nacional e internacional y el deterioro ambiental de Yurimaguas.

1.2.1. Pregunta de investigación

En una ciudad fluvial pensada para ser un punto de intercambio modal (unión de una hidrovía, y una carretera de orden nacional mediante un puerto fluvial), como el caso de Yurimaguas, cabe preguntarse: ¿Cómo se vio afectada una ciudad de parada obligada para el corredor interoceánico con el desarrollo de infraestructura de IIRSA- Eje Amazonas? ¿Cuáles son los cambios (espaciales) que esta ciudad sufrió? Lo anterior se formula a modo de pregunta de investigación¹, como sigue:

¿Cómo cambian los patrones de crecimiento urbano de una ciudad fluvial en la Amazonía peruana durante el desarrollo de infraestructura de gran escala de IIRSA?

1.2.2. Formulación de la hipótesis

Durante el desarrollo de infraestructura de gran escala de IIRSA, el grado de crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*) de Yurimaguas se incrementó, con patrón de rama lineal circundante a la infraestructura de gran escala.

1.2.3. Justificación

El estudio aporta a la comprensión y discusión sobre tres proyectos de gran envergadura y su importancia en la Amazonía peruana en los últimos años: la llegada de la carretera Paita-Yurimaguas, la construcción del Terminal Portuario Yurimaguas-Nuevo Reforma, y la Hidrovía Amazónica. Así como, la discusión de una iniciativa de integración física de escala continental a través del transporte intermodal: IIRSA Eje Amazonas.

La comprensión de los fenómenos en el entorno provocados por el desarrollo de proyectos de infraestructura de gran escala es importante, pues estos proyectos representan grandes inversiones de dinero público y privado e impactan de forma significativa en las condiciones de vida de miles de personas aledañas al proyecto. Varios de estos proyectos de gran escala están perfilados para los próximos años

¹ En el Anexo 1 se adjunta la matriz de consistencia de la presente investigación.

según el Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad (2019) y Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad (PNISC) 2022 – 2025 (MEF, 2022). Por lo que, si se conocieran métodos y técnicas para conocer los cambios sinérgicos y a largo plazo que provoquen, se podrían proponer medidas para aprovecharlos o mitigarlos; y, el conocimiento generado sería de utilidad para los proyectos venideros. En particular, la presente investigación ayudaría para una mejor ejecución del intercambio modal de Saramiriza, una ciudad fluvial y punto de llegada de otra ruta del corredor IIRSA- Eje Amazonas. El rol de Saramiriza es el mismo que Yurimaguas; sin embargo, el desarrollo de las infraestructuras está aún en sus inicios; la investigación también ayudaría a los casos de Iquitos y Pucallpa cuyo grado de complejidad es mayor.

Dentro de la investigación en ingeniería civil hay una concentración en las etapas de diseño, construcción, operación y mantenimiento. Sin embargo, la etapa previa de planificación, y la posterior de cierre, tienen menos producción académica. Siendo la planificación una de las etapas más importantes en la toma de decisiones, y en donde se evalúa las implicancias ambientales de la infraestructura. Esta investigación apunta a cerrar esa brecha en la etapa de planificación de infraestructura. En el Perú, varios proyectos de gran escala se desarrollarán en los próximos años y muchos de ellos se relacionan con una ciudad cercana. El Aeropuerto Internacional de Chinchero, el tren de cercanías Lima-Ica, los puertos marítimos de Paita (Piura), Salaverry (Trujillo), Paracas (Ica), y Matarani (Arequipa), los efectos de todos ellos deberían estudiarse con anticipación. Así como el megaproyecto IIRSA- Eje Amazonas en sus ramales Centro y Sur en territorio peruano deben estudiarse desde un enfoque local.

1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.3.1. Objetivo General

Describir el proceso de cambio en el crecimiento urbano de una ciudad fluvial (Yurimaguas) durante el desarrollo del corredor IIRSA- Eje Amazonas (el punto intermodal) usando un monitoreo espacio-temporal de la cobertura de suelo.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Describir los cambios en el área urbana durante los ciclos económicos-productivos en Yurimaguas (1880-1990) a partir de una revisión documental.

- Detectar el crecimiento urbano de Yurimaguas durante el ciclo de desarrollo de infraestructura IIRSA (1992-2022) usando datos de sensores remotos y SIG.
- Analizar los patrones espaciales del crecimiento urbano de Yurimaguas en el ciclo de desarrollo de infraestructura IIRSA (1992-2022) usando métricas espaciales.

1.4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.4.1. Infraestructura y territorio

La producción de infraestructura de gran escala y los procesos de urbanización están vinculados. Los megaproyectos en su construcción y funcionamiento tienen grandes efectos en el entorno. Dada la escala de estos proyectos, los efectos sobrepasan los anticipados y someten al territorio a un proceso de cambio de un orden mayor, a este proceso le denominan Cristaldo y Silvero (2013): “transformación territorial”. Las ciudades también son afectadas y con ellas, el desarrollo urbano. Así, “Crecimiento económico, expansión de redes de infraestructura y áreas urbanas, deforestación, ocupación de tierras, desarrollo y exclusión, son todos parte de un solo proceso, complejo con múltiples dimensiones” (Cristaldo y Silvero, 2013; Graham y Simon, 2001).

Adicionalmente, la investigación sobre efectos de megaproyectos de infraestructura es una tendencia actual, llena de incertidumbre (Flyvbjerg, 2014). Centros de investigación como OMEGA Centre (University College London), GSD Urban Theory Lab (Harvard University), Master in Megaproject Management (Oxford University), Cldi FADA (Universidad Nacional de Asunción) están a la expectativa de desarrollar conocimiento de estos megaproyectos de infraestructura. Libros como el de Flyvbjerg et al. (2003), Fabbro (2015), Marshall (2013), Cristaldo y Lezcano (2021) difunden conocimiento con base en casos de estudio.

La escuela de posgrado de Diseño de Harvard University (Harvard Graduate School of Design - GSD) se ha enfocado en el área con varios trabajos de investigación. Por ejemplo, estudiando la transformación territorial en el área de triple frontera de Brasil, Argentina, y Paraguay, teniendo como actores infraestructurales a la presa de Iguazú, ciudad del Este y el puente de la Amistad (Cristaldo, 2013). O estudiando la reconfiguración espacial e imagen paisajística

que sufre Los Alpes (Suiza) con la construcción de un túnel y un tren de alta velocidad que lo atraviesa (AlpTransit) (Stutz, 2013). O estudiando el proceso de urbanización luego del megaproyecto de irrigación de Olmos en Perú (Malaspina, 2013). Los anteriores estudios utilizaron, entre otros, los sistemas de información geográfica y cartografía como recursos para representar los fenómenos.

En Fabbro (2015) se proponen medidas para mitigar los efectos locales en diferentes ciudades provocados por un eje de la red de transporte que conecta toda Europa (*Transeuropean Transport Network*) propuesta por la Unión Europea y que está proyectada para terminar el 2030. Mientras que Manzi (2014) aborda la hidrovía Paraguay-Paraná y su interacción con los puertos a su paso. Este eje es parte de la Iniciativa de Integración Regional Suramericana (IIRSA). Varias de las componentes de estos megaproyectos de miles de millones de dólares son megaproyectos en sí mismos.

En Paraguay, el proyecto de investigación “Infraestructura y Transformaciones Territoriales en el Paraguay (1960-2014): Tendencias, conflictos, potencialidades Estrategias” fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y dirigido por la Facultad de Arquitectura, Diseño y Arte de la Universidad Nacional de Asunción, con el objetivo de conocer la reconfiguración del espacio, población y economía (transformaciones territoriales) que ha sufrido el territorio paraguayo entre los años 1960- 2014 por causa de la implantación de infraestructura de gran porte (Cristaldo y Lezcano, 2021). Desarrollando con esto, un método de análisis de los cambios en el territorio. Por lo tanto, las dinámicas entre urbanización e infraestructura están siendo tema de estudio estos últimos años, usualmente utilizando, entre otros, la cartografía como recurso.

A nivel nacional los estudios académicos entre la producción de infraestructura y los efectos en el desarrollo urbano han sido abordados desde distintas disciplinas: la geografía (Chiarella, 2011), el desarrollo económico y planeamiento estratégico (Santa, 2005; Erazo, 2014; Barrantes y Glave, 2014), la gestión de recursos hídricos (Ramos, 2023). En la ingeniería el abordaje de los efectos de los proyectos de infraestructura han tratado la seguridad vial (Guzmán, 2014), niveles de servicio en la carretera IIRSA Norte (Alemán y Muñoz, 2019), navegabilidad (Morales y Soplín, 2014), o el entendimiento de la dinámica fluvial en la Amazonía para un elevar los estándares de los proyectos (CITA UTEC, 2019).

1.4.2. Estudios de monitoreo de cambio de cobertura de suelo

El monitoreo de fenómenos en el territorio usando sensores remotos ha sido utilizado en el país para diversos fines, entre ellos: obtención de datos para preparar los estudios de Zonificación Económica y Ecológica (IIAP, 2015); estudiar la deforestación (Rojas, 2017; Chocña, 2022), estudiar la fragmentación de hábitats y su impacto en la diversidad de especies (Noblecilla, 2019), estudiar el comportamiento de la vegetación (Dedios, 2009), para comparar modelos de clasificación de cobertura de suelo (Rubin de Celis, 2019), para analizar el crecimiento urbano de ciudades a nivel nacional (Espinoza y Fort, 2020), para detectar invasiones urbanas súbitas (Jaimes, 2023), entre otros. No obstante, la aplicación de los sensores remotos sigue en aumento, más aún con la disponibilidad gratuita de herramientas como *Google Earth Engine* que facilitan la adquisición y procesamiento de las imágenes satelitales (Amani et al, 2020).

1.4.3. Integración física por los ríos en Suramérica

Con motivo de establecer corredores comerciales e integración física, se han dado varias iniciativas para el transporte intermodal entre países de Sudamérica. Entre estas iniciativas que presentan transporte fluvial, destacan en Latinoamérica las siguientes: El proyecto *South American Riverway System* -Integración Fluvial de Sudamérica (SARS-IFSA), y la Iniciativa para la Integración de Infraestructura Regional Suramericana (IIRSA) (Morales y Soplín, 2014).

La iniciativa SARS-IFSA planteaba dos ejes para el continente sudamericano: 1) un eje de integración horizontal desde el puerto de Tumaco en Colombia hasta el Puerto Asis (por vía terrestre) y de este puerto hasta el atlántico a través de los ríos Putumayo y Amazonas vía fluvial, conectando así Colombia, Perú y Brasil; y 2) un eje de integración vertical desde el delta del río Orinoco en Venezuela hasta el río la Plata en Argentina, pasando por territorio de Brasil y Paraguay. De esta iniciativa en la integración vertical, se está trabajando el proyecto Hidrovía Paraguay-Paraná (HPP) como eje de integración fluvial y de mercados sobre un ramal de la cuenca del río de la Plata. Esta hidrovía inicia desde el puerto de Cáceres (Brasil), pasando por el puerto de Asunción (Paraguay) hasta la desembocadura al océano atlántico en el puerto de Buenos Aires (Argentina) a través de los ríos Paraguay, Paraná y la Plata respectivamente (Gomez, 2003; Manzi, 2014).

La investigación de Manzi (2014), titulada: “*os ríos e as cidades: Estudo da Hidrovia Paraguai-Paraná-Prata e o espaço urbano circundante*”, intenta entender cómo las poblaciones aledañas al proyecto HPP se relacionan con su espacio y si la comprensión de esta relación podría ayudar a enriquecer dicho proyecto. Para esto, Manzi se vale principalmente del trabajo de campo y cartografía. En sus viajes, el autor describe todo lo que observa y reflexiona a partir de su experiencia en la navegación y de su visita a 24 ciudades atravesando Brasil, Paraguay y Argentina. Al mismo tiempo, hizo un diagnóstico de la infraestructura portuaria y su relación con estas ciudades. Al visitarlas, ideó cómo podría mejorar las relaciones entre la hidrovia y las ciudades; plasmadas en propuestas de diseño de puertos fluviales, mediante maquetas y planos conceptuales. Se relacionan dos escalas: una a distancia y la otra in situ basadas en registros visuales.

1.4.4. Documentos oficiales del Estado sobre el Eje del Amazonas de IIRSA

Como se mencionó inicialmente, el Eje del Amazonas de IIRSA considera la integración intermodal bioceánica entre Perú y Brasil a través de infraestructura de transporte (Valdes y Parimbelli, 2013; COSIPLAN, 2017a). En estos proyectos viene trabajando el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) en los últimos años.

De los documentos oficiales del Estado peruano, con miras a los efectos de IIRSA el MTC cuenta a partir del año 2014 con un Plan Hidroviario del Sistema Fluvial Comercial Peruano (en adelante Plan Hidroviario). El Plan Hidroviario hace una revisión de los estudios y planes que le antecedieron. Un instrumento complementario al Plan Hidroviario es la “Evaluación Ambiental y Social con carácter Estratégico del área de influencia del Plan Hidroviario Comercial Peruano (en adelante, EASCE). Dicho documento evalúa las alteraciones socio ambientales derivadas de la implementación del plan sobre el territorio Amazónico y propone estrategias de gestión ambiental, a fin de garantizar la viabilidad del plan hidroviario. El EASCE (2014) identificó un posible incremento de la ocupación informal de territorios y la expansión de las ciudades y vías de acceso, y propuso, como medida de mitigación, la elaboración de planes territoriales y fortalecimiento de capacidades institucionales, entre otras.

Otro documento oficial es el Estudio de Impacto Ambiental Detallado de la Hidrovia Amazónica presentado para su revisión en mayo de 2019. Luego de la evaluación por diversos entes del Estado y organizaciones interesadas, ha sido observado

por el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE) al 09 de octubre del 2019. El SENACE observó, entre otras cosas, que el área de influencia no haya incluido todas las actividades y etapas del proyecto, razón por la que se le pide al titular la actualización del área de influencia del proyecto teniendo en cuenta “la continuidad, integralidad y dinamismo de los ríos”. Asimismo se ha observado que se hayan omitido algunos impactos de origen ambiental, y en cuanto a impactos de origen socioeconómico y cultural indican lo siguiente: “no se han identificado varios impactos de posible ocurrencia y en otros casos, los identificados y evaluados, resultan siendo subestimados” (SENACE, 2019c).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Infraestructura de gran escala

En los últimos años, un nuevo ente se ha estado desarrollando en muchos países: el megaproyecto de infraestructura de varios miles de millones de dólares. Las áreas comunes de estos megaproyectos son el transporte, la energía y telecomunicaciones. Por ejemplo, el túnel más largo del mundo en Noruega (*Laerdal Tunnel*), el puente entre Dinamarca y Alemania a través del mar Báltico (*Gedser–Rostock Bridge*), el enlace ferroviario que atraviesa las montañas de Los Alpes (*The Alptransit tunnel*), sistemas de tuberías que transportan gas y petróleo y redes de energía eléctrica que atraviesan países. Sin embargo, éste no es un fenómeno sólo de Europa, países tanto industrializados como no industrializados de otros continentes tienden también hacia ello. Por ejemplo, atravesando Sudamérica la conexión bioceánica entre el océano Pacífico y el Atlántico (IIRSA). Al parecer, los gobiernos están promoviendo la presencia de este ente físico y político, ya sea de forma individual o colectiva (Flyvbjerg et al., 2003).

Flyvbjerg (2014) presenta un orden de medida para proyectos en general, esta es una estimación aproximada basada en la experiencia, se tiene lo siguiente: Se consideran "megaproyectos" a aquellos medidos en miles de millones de dólares (10^9), "proyectos principales" o "grandes proyectos" aquellos medidos en cientos de millones de dólares (10^8) y simplemente "proyectos" a los del orden de millones o decenas de millones de dólares (10^6 o 10^7).

Por lo que, en esta investigación se le denomina "infraestructura de gran escala" a la agrupación de un "gran proyecto" y dos "proyectos" de infraestructura, que son parte de un "megaproyecto" de infraestructura como es IIRSA. En el Perú, los proyectos de infraestructura de relevancia nacional son asignados a la Agencia de Promoción de Inversión Privada – ProInversión. Por lo que, "la relevancia nacional" podría ser también un criterio para poder definir la gran escala. ProInversión y el Ministerio de Economía y Finanzas han articulado el "Plan

Nacional de Infraestructura para la Competitividad” (2019) y “Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad (PNISC) 2022 – 2025” (MEF, 2022) en donde se encuentran estos proyectos de infraestructura venideros.

2.1.2. Centro poblado urbano

El Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Planificación Urbana del Desarrollo Urbano Sostenible (MVCS, 2022) define a un centro poblado como “un lugar [...] con toponimia propia [...] donde habita una población con vocación de permanencia, con viviendas agrupadas de forma contigua y con un patrón determinado”. Por otro lado, y acerca del término urbano, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) define lo siguiente: “Área urbana o centro poblado urbano es aquel que tiene como mínimo 100 viviendas agrupadas contiguamente (en promedio 500 habitantes)”. Por lo que ambas definiciones se refieren a la agrupación de personas viviendo en un lugar en el territorio con determinada densidad de habitante por área. Adicionalmente, en el Perú los centros poblados se han organizado con fines de planificación territorial en el Sistema de Ciudades y Centros Poblados (SICCEP), como parte del Reglamento (2022) antes mencionado. En el SICCEP, se definen criterios como categoría, rango y rol de los centros poblados y una unidad territorial sobre la que influye, en base a ello los centros poblados urbanos están categorizados en metrópoli nacional, metrópoli regional, ciudad mayor, ciudad intermedia, ciudad menor y villa.

2.1.3. Desarrollo urbano

Para esbozar el concepto de desarrollo urbano se usará las dos citas siguientes:

“El surgimiento de grandes ciudades y su creciente influencia espacial inició un cambio de lugares largamente rurales hasta predominantemente urbanos y de patrones de vida que han afectado a muchos países en los últimos 200 años” (Bhatta, 2010)

“Desarrollo urbano es el proceso de surgimiento de un mundo regido por ciudades y valores urbanos” (Clark 1982 en Bhatta 2010)

Por lo tanto, se entiende como desarrollo urbano al proceso por el cual las ciudades se convierten en el centro de las sociedades. Teniendo con ello, implicancias sociales, culturales, económicas y ambientales.

2.1.4. Crecimiento urbano y urbanización

Se distinguen dos procesos principales de desarrollo urbano: crecimiento urbano y urbanización. Aunque cercanos, los conceptos son diferentes. Mientras que el primero es un proceso espacial y demográfico, el segundo tiene más referencia a un proceso social. El crecimiento urbano se refiere al incremento en la importancia de una ciudad, pudiendo ser expresada en la expansión horizontal del área urbana. Por otro lado, urbanización se refiere más al “cambio de comportamiento y relaciones sociales de personas como resultado de vivir en las ciudades”. Aunque el término urbanización es también usado en un sentido más amplio como el crecimiento físico de áreas urbanas como resultado de inmigración de personas a estas; O, como equivalente a migración de personas de áreas rurales a urbanas (Bhatta, 2010). La llegada de muchas personas a una ciudad tiene una serie de implicancias “en la estructura social, económica y política de una región” [...] Cuando el proceso de urbanización se da de forma muy rápida se da por ejemplo el “sobreesfuerzo de la capacidad de abastecimiento de servicios a la población como energía, educación, salud, transporte, saneamiento y seguridad física” (Bhatta, 2010).

2.1.5. Monitoreo de crecimiento urbano

Monitoreo de crecimiento urbano se refiere a la técnica de identificación de cambios para estudiar el proceso de un área urbana, observándola en múltiples fechas a lo largo del tiempo con base en imágenes (Bhatta, 2010, p. 65).

2.1.6. Patrón espacial

Yue-Hong Chou (1995) menciona que el término ‘patrón espacial’ se refiere al “arreglo de determinadas entidades en el espacio y las relaciones geográficas entre estas. En general, un patrón es el reflejo de un proceso espacial subyacente en un estadio temporal específico que influye en el proceso del próximo estadio. En consecuencia, la capacidad de generalizar o cuantificar patrones espaciales es un prerequisite para entender el proceso complejo que gobierna la distribución del fenómeno en el espacio”.

2.1.7. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

“Es un sistema de uno o varios programas para capturar, editar, transformar, analizar y presentar procesar datos geográficamente referenciados”. Pero también

se usa el nombre para hacer referencia a la ciencia, no al programa para hacer mapas, los mapas son apenas una aplicación, son todas las posibilidades que se pueden dar con manipulación de datos georreferenciados (Thurston et al., 2003).

2.1.8. Teledetección (Sensores Remotos)

“La teledetección es el uso de sensores instalados en aeronaves o satélites para detectar energía electromagnética registrada a partir de o emitida por la superficie terrestre” (Tso y Mather, 2009). En otras palabras, los satélites registran información de gran utilidad; como la captura de imágenes del territorio desde una gran distancia, por ejemplo. El procesamiento de estas imágenes también está en el área de conocimientos denominado teledetección o también aplicaciones de sensores remotos.

2.2. MARCO TEÓRICO

En este apartado se presenta el conocimiento existente sobre el tema a investigar. Este conocimiento pondrá en contexto la situación, identificará el problema como la ausencia de conocimiento, y expondrá cómo será el conocimiento que se busca producir mediante la presente investigación.

2.2.1. Globalización e Infraestructura

Según Flyvbjerg et al. (2003): el establecimiento de corredores económicos obedece a la premisa de eliminación de la distancia, característica de la búsqueda de una “sociedad sin fricción”. Un fenómeno social, y económico global contemporáneo estudiado por el sociólogo Zigmunt Bauman. “El poder, riqueza y posición se les concede a aquellos que saben cómo acortar el espacio o aquellos que saben cómo beneficiarse de ello.” Y dentro de ello, la infraestructura es una gran herramienta para acortar el espacio. Por lo tanto, “la infraestructura ha dejado de ser rápidamente una precondition para la producción y consumo para convertirse en el centro de producción y consumo”. Es así, que entran en escena los megaproyectos. Grandes entes artificiales, con inmensos presupuestos de miles de millones de dólares (USD) y persiguiendo grandes alcances en todos los continentes.

El Instituto McKinsey, estima que en 2015 el mundo invertía un 14% del PBI global en el sector de infraestructura, USD 9.5 billones (McKinsey Global Institute, 2017). De acuerdo a Flyvbjerg (2014), el crecimiento de los megaproyectos tiene una tendencia histórica al alza. “El tamaño de los proyectos de infraestructura crece de 1.5% a 2.5% anualmente desde el siglo pasado. Lo que es equivalente a que ahora es el doble o el triple del tamaño que hace un siglo.” Por lo que cada vez, los megaproyectos de infraestructura son más frecuentes y cada más grandes. Sin embargo, son cada más riesgosos también. Con una base de datos de megaproyectos analizados, Flyvbjerg (2014) describe que los megaproyectos usualmente son presentados en términos de sus ventajas, los efectos negativos que estos puedan causar son subestimados en sus etapas iniciales para no comprometer su viabilidad. Asimismo, Flyvbjerg (2014) menciona también: “los megaproyectos no son versiones magnificadas de proyectos más pequeños. Son una clase diferente de proyectos en términos de sus aspiraciones, periodo de ejecución, complejidad e involucramiento de los interesados”. Lo cual es un llamado a una nueva forma de gestionar estos megaproyectos.

El contexto Latinoamericano no es ajeno al fenómeno anterior. El megaproyecto IIRSA apunta a mejorar la conectividad en todo Sudamérica como uno de sus objetivos en general, y el Eje Amazonas de IIRSA pone al Perú en una situación particular.

2.2.1.1. IIRSA Eje del Amazonas – IIRSA Norte en el Perú

Entre varios intentos de integración de los países de Sudamérica, la iniciativa de IIRSA es uno de los más relevantes. No solo por el nivel de acuerdos que ha tenido sino por la puesta en marcha de infraestructura física en los territorios de cada país. El Perú participa de 4 Ejes de Integración y Desarrollo de IIRSA: Eje del Amazonas (Perú, Ecuador, Colombia, Brasil), Eje Perú-Brasil- Bolivia, Eje Interoceánico (Brasil-Paraguay-Bolivia-Perú-Chile), Eje Andino (Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela, Bolivia y Chile) (COSIPLAN, 2017a, p. 261).

La integración entre el océano Atlántico y océano Pacífico que pretende la iniciativa IIRSA – Eje Amazonas (ver Figura N° 2), se presenta ante el interior del país como solución al problema histórico de conectividad del país con la Amazonía peruana, en especial, la baja Amazonía. Sin embargo, a nivel internacional, IIRSA

- Eje Amazonas sería una ruta comercial alternativa al canal de Panamá. Es decir, mediante este eje, el Perú podría salir comercialmente a los mercados de Europa y de Brasil, la potencia suramericana; mientras que Brasil podría tener una salida estratégica hacia el mercado asiático (Redwood, 2012). Así, se conecta la Amazonía peruana con los estados de Amazonas y Pará del Brasil, y en específico la ciudad de Yurimaguas (Loreto) se conectaría con las ciudades fluviales de (i) Manaus, una de las cinco ciudades más grandes de Brasil, y (ii) Belem, que está dentro de las diez más grandes.

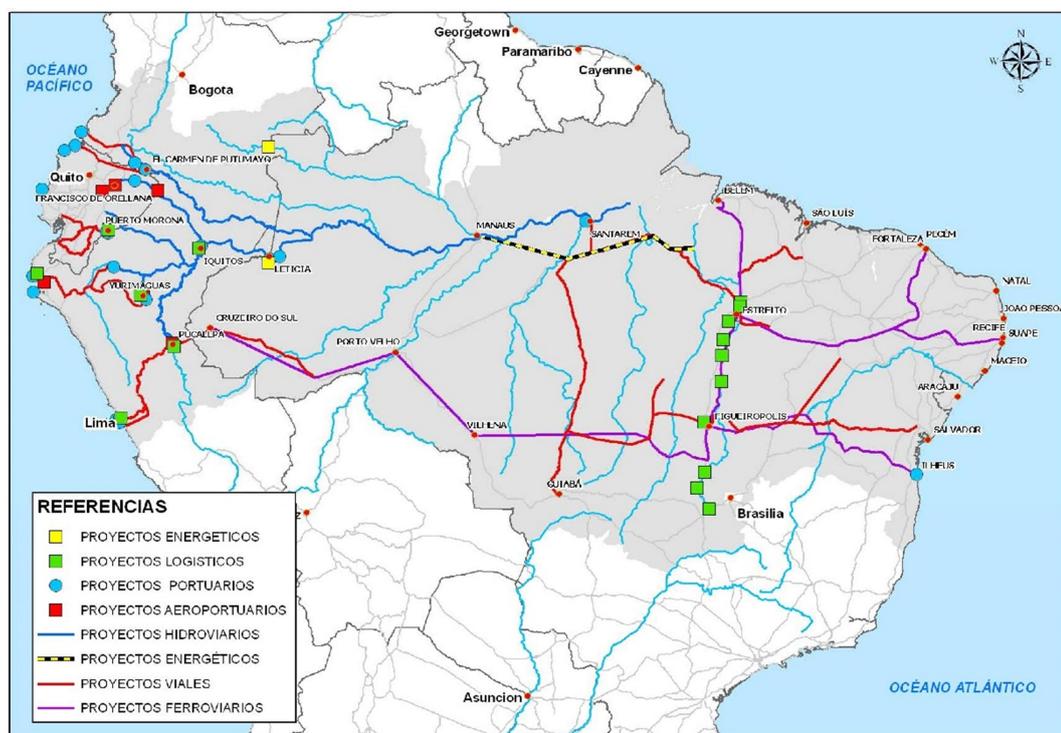


Figura N° 2. Proyectos del Eje Amazonas de IIRSA.

Fuente: (Valdes y Parimbelli, 2013).

Desde el 2014, ha sido contemplado un modelo de servicios logísticos en el Plan de Desarrollo de Servicios Logísticos de Transporte que se formuló para el MTC, en adelante Plan Logístico. Este Plan Logístico fue diseñado con el objetivo de orientar al Estado peruano para promover un sistema logístico –infraestructura, servicios y procesos- que utilice los retos venideros para potenciar la competitividad de los productos nacionales. En el modelo de la situación actual al 2014 se presenta 22 corredores logísticos nacionales, un nodo central (Lima y Callao), así como 4 macro-ámbitos logísticos: Centro, Sur, Norte-Oeste y Norte-

Oriente (Ver Figura N° 3). El macro-ámbito Logístico Norte Oriente enlaza a la Amazonía Peruana con la metrópoli regional de Chiclayo como nodo central, mediante el corredor Chiclayo-Moyobamba-Tarapoto-Yurimaguas-Iquitos, como uno de los principales ejes. Mientras que la parte que ya está consolidada es Chiclayo-Tarapoto-Yurimaguas; Yurimaguas-Iquitos se encuentra en proceso de tanto mejore el transporte fluvial. La definición de los corredores logísticos tiene la finalidad de proporcionar a los puntos centrales de estas rutas no solo infraestructura vial; sino también, infraestructura especializada necesaria para poder brindar los servicios logísticos de apoyo al comercio nacional e internacional ameritaría. Es por lo anterior, que entran en contexto plataformas logísticas en los denominados nodos, así como el Sistema Nacional de Plataformas Logísticas (MTC y BID, 2014).

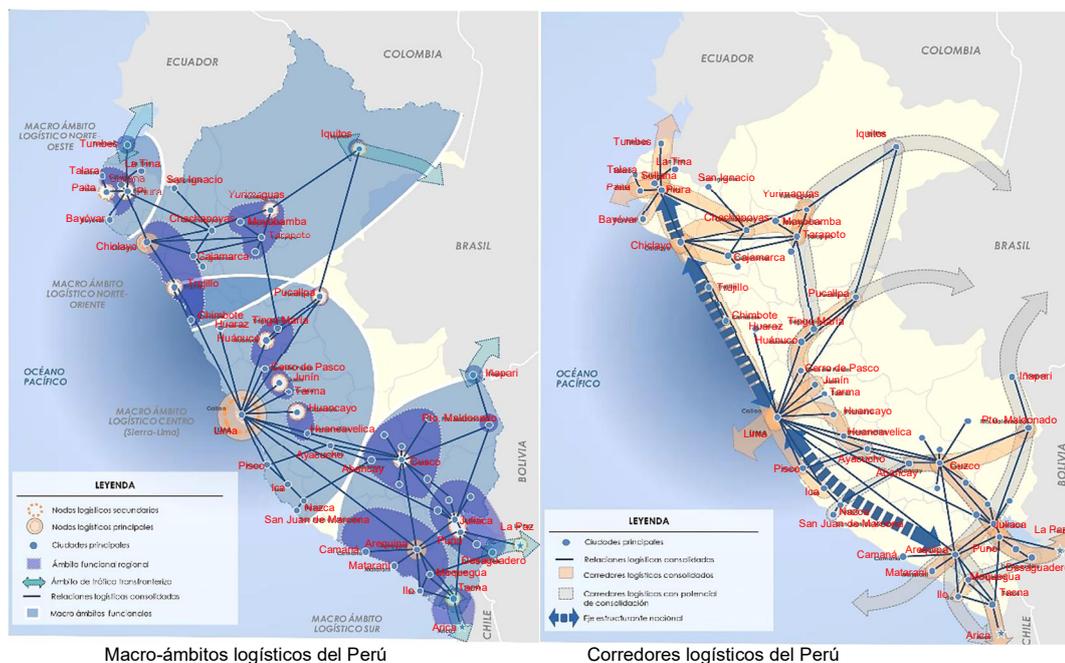


Figura N° 3. Sistema funcional logístico del Perú al 2014.

Fuente: MTC (2014) Plan de Desarrollo de Servicios Logísticos de Transporte (PDSLST).

Actualmente a los proyectos del Eje Amazonas de IIRSA en el Perú, se le conoce como IIRSA Norte e IIRSA Centro. Precisamente uno de los corredores de IIRSA Norte tiene como parada obligatoria a la ciudad fluvial de Yurimaguas, donde se hará el cambio de modo de transporte hidroviario a transporte terrestre del Corredor Logístico. Para ello, Yurimaguas siendo un área de apoyo Logístico se

le ha proyectado también una Plataforma Logística Multimodal en el largo plazo del plan 2021-2031 (MTC y BID, 2014).

Por lo tanto, el grupo de infraestructuras de gran escala que se ha proyectado en Yurimaguas y que forman el nodo de cambio modal son tres: 1) infraestructura vial (Carretera Nacional Paita-Yurimaguas), 2) infraestructura Portuaria (Terminal Portuario Yurimaguas-Nueva Reforma); y por último, 3) la infraestructura hidroviaria (Hidro vía Amazónica) (ver Figura N° 4). A continuación, se hará una breve descripción de estos proyectos.

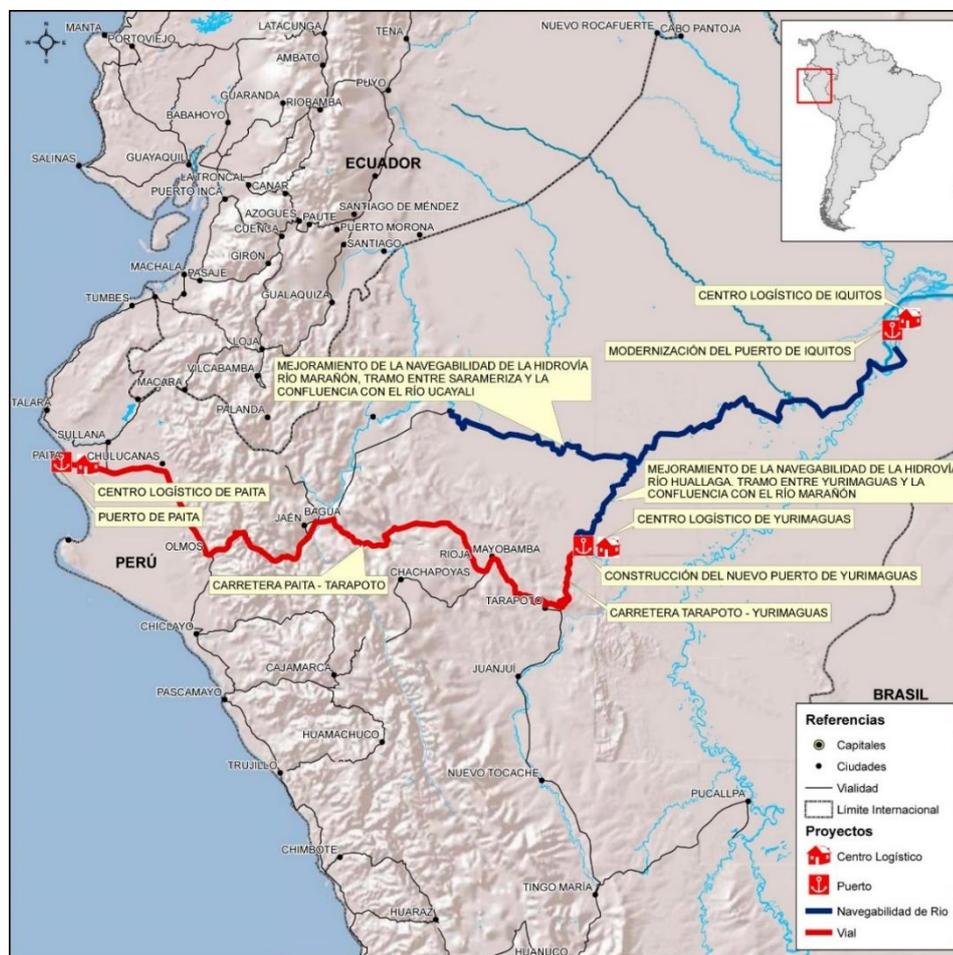


Figura N° 4. Proyectos de IIRSA-Eje Amazonas en uno de los corredores que une Paita e Iquitos.

Nota: Obsérvese la concentración de proyectos cercanos a la ciudad de Yurimaguas (encuentro de líneas roja y azul).

Fuente: (COSIPLAN, 2017b)

2.2.1.2. Infraestructura vial: carretera Paita– Yurimaguas

La carretera de orden nacional Paita – Yurimaguas, que permitirá la conexión interoceánica se desarrolló en 2 tramos por el Concesionario IIRSA NORTE: 1) Paita – Tarapoto y 2) Tarapoto –Yurimaguas (PE-5NB). El tramo 1 se desarrolló entre 2006 y 2011 por un monto de inversión total de USD 273´650,767; Y el tramo 2 se desarrolló entre 2006-2009, y tuvo un monto de inversión de USD 231´712,828. Este segundo tramo consta de la mejora de la carpeta asfáltica de 125km. Por otro lado, dado que IIRSA tenía previsto la construcción de un nuevo puerto en Yurimaguas, se hizo un adicional para la extensión de dicha carretera interoceánica de Yurimaguas hasta Nueva Reforma donde se ubicaría el puerto. A finales de 2013, se concluyó la construcción de la vía de acceso al nuevo puerto por parte de la Concesionaria IIRSA Norte por un monto de inversión de USD 20.37 millones, este acceso incluyó el puente Parapapura (COSIPLAN, 2017b; IIRSA NORTE, s.f.; OSITRAN, 2022).

2.2.1.3. Infraestructura portuaria: Terminal Portuario Yurimaguas – Nuevo Reforma

Luego de la construcción del acceso al puerto en 2013, como era la condición, en 2014 se empezó la construcción del Nuevo Terminal Portuario de Yurimaguas-Nueva Reforma con miras a la hidrovía, que fue inaugurado en 2016. Este Terminal Portuario está construido y en funcionamiento en su primera fase con un monto de inversión de USD 36´089,315. Actualmente este puerto concesionado por 30 años al Consorcio Portuario Amazonas S.A., está operando con una demanda anual en incremento progresivo y se encuentra a la espera de que la demanda de carga ascienda a 600,000 toneladas métricas (TM) anuales o 44% de ocupación del muelle, lo que suceda primero, para comenzar con su fase II y III de inversión, es decir, su ampliación, equipamiento y reposición. Con lo cual llegaría a un monto de inversión de USD 50´320,000 (COSIPLAN, 2017b; OSITRAN, 2018b).

2.2.1.4. Infraestructura hidrovía: Hidrovía Amazónica

Actualmente existe transporte fluvial a través de los ríos Marañón, Huallaga, Ucayali y Amazonas, si bien las condiciones de navegabilidad de estos ríos no impiden totalmente el transporte fluvial. También es cierto, que debido a que los accidentes en la navegación son frecuentes, esas condiciones deberían buscar

una mejora. Esta fue una de las razones por las que IIRSA ganaba aceptación a nivel de los gobiernos regionales, y locales pues el concepto de hidrovía iba ligado a mejorar la seguridad del transporte fluvial en la Amazonía. En la Tabla 1 se pueden observar las especificaciones buscadas por IIRSA según Bara et al (2007) y las condiciones en que se encontraban los ríos según el Estudio de Factibilidad del proyecto de ProInversión “Mejoramiento y mantenimiento de las condiciones de navegabilidad en los ríos Huallaga, Ucayali, Marañón y Amazonas” (2010) ; y Morales y Sóplin (2014).

Tabla 1. Diferencia entre la navegabilidad de los ríos amazónicos y de la hidrovía

Características de los ríos navegables de la Amazonía del Perú	Requisitos que cumple una hidrovía para la CAF
- Cambios morfológicos	- Navegación 24/365
- Variación de profundidades (malos pasos)	- Señalización y mantenimiento
- Variación del tirante	- Mínimas dimensiones físicas
- Variación del caudal	- Cartas de navegación
- Tránsito de embarcaciones con materiales peligrosos como petróleo	- Apoyo a la navegación
- Falta de puertos apropiados	- Conexión intermodal normalizada
- Incertidumbre de zarpe	
- Presencia de palizada	

Fuente: Bara et al (2007), EIH y H&O (2010), Morales y Soplin (2014)

Para resolver la diferencia de la tabla 1, el estado peruano inició el proyecto Hidrovía Amazónica, pues con ello se pretendía lograr la integración regional interoceánica.

En el 2010 el MTC dio la responsabilidad de hacer el estudio de factibilidad de un proyecto para la mejora de la navegabilidad en los 4 ríos navegables más importantes de la Amazonía peruana (Marañón, Huallaga, Ucayali, y Amazonas) al consorcio EIH-H&O, y el 2012, MTC aprobó dicho estudio, denominado posteriormente Hidrovía Amazónica. Actualmente el Estudio Definitivo de Ingeniería (EDI) está en elaboración, razón por la cual se describirá el proyecto a través del estudio de factibilidad. Este proyecto desarrollado mediante una Asociación Pública Privada tiene proyectada su operación con un horizonte de 20 años asegurando la navegabilidad de estos ríos para una flota de comercio exterior los 365 días del año. El estudio describe lo siguiente:

El propósito del proyecto Hidrovía Amazónica es “la realización de las obras y acciones necesarias para implementar adecuadas condiciones del servicio de navegabilidad”. Esta navegabilidad es la capacidad de navegar los 365 días del año y las 24 horas del día. Para ello habilitarán los sectores que ejerzan restricciones a la navegabilidad (llamados coloquialmente “malos pasos”) y otras acciones de soporte. Los principales componentes de este proyecto son 4:

1. Obras de dragado para habilitar los “malos pasos”
2. Instalación de un sistema de Ayuda a la Navegación
3. Instalación de una red de limnímetros con transmisión satelital
4. Establecimiento de un sistema de mantenimiento y monitoreo de lo anterior.

La primera componente: las Obras de Dragado, se dará para obtener: un canal de navegación a partir de una nave de diseño a lo largo de los ríos; y un área de maniobra garantizado en las zonas portuarias de Pucallpa e Iquitos. Por lo que, sus acciones serán la profundización y ensanche de ciertas zonas del cauce de los ríos.

La nave de diseño, está compuesta por un sistema de barcasas estándar y una agrupación de estas (convoy) movidas mediante un empujador (nave motorizada). Esta nave de diseño definida presenta las siguientes características (ver Tabla 2).

Tabla 2. Características de la nave de diseño y su organización en convoyes

Características de Barcaza Estándar	Formación de Convoy de diseño (N° barcasas de largo x N° de barcasas de ancho)
· Eslora: 50m	Tramo Santa Rosa Iquitos:
· Manga: 12m	4x4 barcasas con un empujador
· Puntal: 3,2m	
· Calado Máximo: 2,7m (8,85pies)	Tramo Iquitos- Yurimaguas
· Calado Mínimo (vacía): 0,5m	Tramo Iquitos -Pucallpa
· Desplazamiento a Calado Máximo: 1.500t	2x2 barcasas
· Desplazamiento a Calado 6 pies: 1.000t	
· Desplazamiento Vacía: 250t	Tramo Desembocadura Huallaga – Saramiriza
· Carga Útil con Calado Máximo: 1.250t	2x1 barcasas
· Carga Útil a Calado 6 pies: 750t	

Fuente: EIH-H&O (2010) Estudio de Factibilidad.

Para la navegación se ha considerado un calado de navegación de 6 pies aguas arriba de Iquitos (según Perfil del proyecto), de ahí aguas abajo el calado puede ser mayor. Por ello se tiene las siguientes profundidades mínimas de diseño del canal: Calado de 6 pies dará una profundidad de diseño del canal de 8 pies; y donde el calado sea de 8 pies, la profundidad de diseño del canal será de 10 pies.

Para el ancho del canal se ha definido una sola vía para el tránsito de los convoyes. Es decir, una dirección de navegación por el canal debido al bajo volumen de tráfico y el río que es abierto lo que permite maniobrar. Cumpliéndose en la mayor parte de la hidrovía el ancho calculado de 56m y en el tramo desembocadura Huallaga-Saramiriza de 44m. El canal de navegación irá variando su trazo a lo largo de los 20 años de concesión, puesto que los ríos amazónicos se caracterizan por una variación morfológica espacial en el tiempo. El cauce del río no es estático.

La segunda componente: el sistema de ayuda a la navegación, considera señalización como faros y letreros. Además de la comunicación de información, la cual se podría homologar a las plataformas on-line que ofrecen información para la conducción de vehículos terrestres. Es decir, una aplicación (*app*) que informe al conductor de la ubicación espacial del canal de navegación y por dónde conducir en tiempo real.

La tercera componente: la red de limnímetros, alimentará la información en tiempo cuasi-real para el navegante en las diferentes épocas de río. Ya sea en épocas de crecidas o épocas de vaciante.

La cuarta componente: el sistema de mantenimiento y monitoreo está concentrado hoy en la limpieza del canal de navegación de los troncos y palizadas (denominadas "quirumas") que existen actualmente. Así como, control de profundidades (batimetrías), apoyo en caso de contingencias. Este sistema de información unido a los otros permitirá al navegante tomar decisiones como aumentar la carga, por ejemplo.

La Hidrovía Amazónica fue un proyecto de gran envergadura listado dentro del Plan Nacional de Infraestructura para Competitividad (2019) con una inversión de

más 243 millones de soles por parte del estado y USD 95 604 416,31 de dólares por parte del concesionario². E influyendo en la vida de un gran número de centros poblados y el desarrollo nacional. También en el 2019, COHIDRO (el concesionario de Hidrovía Amazónica) presentó un EIA-d buscando la certificación ambiental. Sin embargo, este EIA-d de la Hidrovía Amazónica fue muy discutido en 2019, y por ello, desistieron con ese intento (SENACE, 2020). A la fecha la Hidrovía Amazónica aún no cuenta con viabilidad ambiental. Este proyecto no solo conecta la ruta que pasa por Yurimaguas, sino también por las ciudades fluviales más importantes de la Amazonía peruana: Iquitos y Pucallpa; y también Saramiriza: un homólogo pequeño emergente. Es por ello que las inversiones para la mejora de los puertos en Iquitos y Pucallpa se encuentran también en desarrollo (Agencia Peruana de Noticias, 2019; Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2019; SENACE, 2019a). Al cierre de esta investigación, el proyecto de Hidrovía Amazónica se encuentra paralizado y no se encuentra priorizado en el Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad (PNISC) 2022 – 2025; puesto que, en mayo de 2021, el concesionario COHIDRO manifestó su intención de caducar el contrato por mutuo acuerdo (MEF, 2022).

El hecho de que el proyecto Hidrovía Amazónica, parte del corredor bioceánico, se encuentre paralizado, no asegura que no se de en un futuro cercano. De hecho, Flyvbjerg (2014) menciona que los megaproyectos, como lo es IIRSA, generalmente siguen un modelo de quiebra-reparación (*break-fix model*), es decir, “los gestores de megaproyectos no saben cómo sacar adelante un megaproyecto inicialmente, o no tienen los incentivos para ello, por lo que estos proyectos tienden a quebrar (*break*) tarde o temprano[...]. Luego, los proyectos son pausados y reorganizados –a veces también refinanciados- en un intento para reparar (*fix*) los problemas y así ofrecen alguna versión del proyecto planificado inicialmente con una apariencia mejorada”.

2.2.2. Infraestructura y sus efectos en el territorio

Aunque los grandes proyectos de infraestructura “suelen estar diseñadas para cumplir un propósito específico –en su mayoría relacionados con el transporte de

² Ver informe de SENACE sobre el EIA-d Hidrovía Amazónica: INFORME N° 00737-2019-SENACE-PE/DEIN

personas y mercancías- siempre conllevan externalidades imprevistas” (Cristaldo y Lezcano, 2021, p. 179). Así, “una obra de infraestructura de gran porte actúa como catalizador (agente que acelera una reacción) de un proceso multidimensional. Y este proceso a su vez, trae como consecuencia efectos esperados y otros inesperados o sorprendidos”. Estos efectos –algunos paradójicos- son rara vez discutidos en las etapas iniciales. Se presta más atención a los impactos inmediatos, que a los de mediano y largo plazo (Cristaldo y Silvero, 2013).

Entonces, la discusión de los efectos de los grandes proyectos de infraestructura son un escenario de debate entre los promotores del proyecto y los actores que ejercen resistencia a él. En el medio del debate se discuten los efectos que esta clase de infraestructura podría producir en el territorio. Sin embargo, esta polarización deja vacíos. Estos vacíos se llenan con incertidumbre. La duda cabe sobre si determinado efecto ha sido evaluado de forma satisfactoria o no. Si es suficiente con el método utilizado para prever los efectos producidos por la infraestructura o no. Si podría haber efectos que simplemente no se están tomando en cuenta o no. En ese sentido, la subestimación y sobredimensión de efectos son palabras habituales en cada bando. Es preciso decir, que estos debates serán cada vez más alturados en la medida que se produzca más conocimiento académico sobre el estudio de cada tipo de efectos, métodos y técnicas para tratarlos (Cristaldo y Lezcano, 2021, p. 16).

Por otro lado, diversos estudios estiman que la población urbana casi se duplicaría para el 2050, por lo que “la urbanización es una de las tendencias más transformadoras del siglo XXI” (ONU-Habitat, 2017). Además, “los procesos socioeconómicos, naturales y tecnológicos impulsan y son afectados también por las estructuras espaciales urbanas en evolución, con las que estos procesos interactúan” (Bhatta, 2010, p. 118). Por tanto, el estudio de los fenómenos en las ciudades ligados a grandes proyectos de infraestructura es crucial.

Para estudiar los efectos que produce un proyecto grande de infraestructura, es preciso valerse de casos de estudio. Dado que en el sur global no hay muchos casos de grandes proyectos de infraestructura, Cristaldo y su equipo se valen de entrevistas, artículos y ponencias para exponer casos de estudio que suceden

alrededor del mundo. Adicionalmente, los grandes proyectos de infraestructura que estudia Cristaldo presentan ciertos atributos: a) generalmente presentan largos periodos para su gestación y ejecución; b) son excepcionales, hay pocos de estos proyectos en cada territorio por lo que se les presenta como necesarios y en consecuencia viables para ser implementados; c) “una vez implementados, estos proyectos inducen vastas reconfiguraciones económicas, ambientales y sociales, en la realidad física del territorio y en las actividades que ocurren en el mismo, en los ecosistemas, las culturas y los pueblos” en periodos cortos de tiempo (Cristaldo y Lezcano, 2021).

Un efecto para la variable urbana, es mencionado por Stutz -en Cristaldo y Lezcano (2021)-: “a medida que se implementan y consolidan proyectos de integración infraestructural [...], se fomenta la expansión urbana en áreas específicas”. Esto mismo pasa en los extremos en una red de articulación como el puerto de Nueva York (J. Cristaldo, comunicación personal, 11 de Noviembre, 2019). Para el presente trabajo el crecimiento urbano en la zona de estudio es uno de los efectos esperados por la implantación de infraestructura de IIRSA. Sin embargo, la magnitud, trayectorias y forma que este crecimiento urbano pueda tener no se conoce. Aun cuando los “catalizadores” están puestos en el territorio.

Por otro lado, la herramienta oficial utilizada, a nivel nacional e internacional, en la gestión de proyectos de infraestructura -incluyendo los grandes proyectos- para afrontar los efectos de sus obras en el territorio es la Evaluación de Impacto Ambiental. Herramienta que es preciso revisar.

2.2.2.1. Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

En el Perú, la Evaluación de Impacto Ambiental de obras o actividades que puedan afectar al medio ambiente está regulada por la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental y su Reglamento DS 019-2009-MINAM. Estas definen lo siguiente sobre esta herramienta:

“La evaluación de impacto ambiental es un proceso participativo, técnico administrativo, destinado a prevenir, minimizar, corregir y/o mitigar e informar acerca de los potenciales impactos ambientales negativos que pudieran derivarse de las políticas, planes, programas y proyectos de inversión, y asimismo, intensificar sus impactos positivos.” (MINAM, 2011)

Los mundialmente conocidos Estudio de Impacto Ambiental son denominados en la regulación peruana como Instrumentos de Gestión Ambiental (IGA), y estos, para la evaluación de proyectos, son categorizados según la significancia de los impactos negativos esperados. El Ministerio del Ambiente a través del Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE) hace la categorización del instrumento de acuerdo a la envergadura de los efectos que se esperan de los proyectos en el territorio, teniendo las siguientes opciones: [1] Declaración de Impacto Ambiental (DIA), cuando los impactos negativos no son significativos; [2] Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd), para los proyectos cuyos impactos sean moderados; y [3] Estudio de Impacto Ambiental Detallado (EIA-d), para los proyectos cuyos impactos sean importantes.

Por tanto, el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, que incluye a la identificación y evaluación de los impactos, así como la propuesta de acciones para mitigar los efectos negativos y potencializar los positivos (ver Figura N° 5) se da a través de esos Instrumentos de Gestión Ambiental, y estos pueden ser elaborados con el Estudio de Factibilidad o el Expediente Definitivo del proyecto. Los equipos a cargo de formular los IGA suelen ser multidisciplinarios para poder cubrir la gama de efectos resultantes; sin embargo, y en particular los efectos urbanos requieren de mayor atención y profundidad para no pasar inadvertidos.



Figura N° 5. Esquema de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.

Fuente: Lozano (2019)

Los IGAs se exigen de forma obligatoria para dar viabilidad a los proyectos y además no se puede iniciar la ejecución de un proyecto sin la aprobación de este

instrumento por la entidad correspondiente (MINAM, 2011). Sin embargo, estos estudios identifican y evalúan los impactos de cada uno de los proyectos de forma individual. En el caso de estudio de esta investigación, cada uno de los cuatro proyectos (la carretera, la vía de acceso al puerto, el nuevo puerto y la hidrovía) han elaborado Estudios de Impacto Ambiental a nivel detallado³ (ver Tabla 3. filas 1-4). Aunque solo los tres primeros proyectos (la carretera, vía de acceso y el nuevo puerto) cuentan con este instrumento aprobado por la entidad evaluadora tal como dictan las normas, el cuarto (la hidrovía) desistió del proceso de evaluación de su EIA-d⁴ y en consecuencia fue archivado.

Luego, en la identificación de impactos de estos EIA-d respecto de la variable de crecimiento urbano (por ejemplo) serían impactos por cada proyecto individual, no son acumulativos ni sinérgicos. Por lo que, el crecimiento urbano ocasionado por el corredor de IIRSA-Eje Amazonas como conjunto no está del todo estudiada y profundizada. Ese es el vacío de conocimiento que encuentra esta investigación (el problema).

Tabla 3. Instrumentos de Gestión Ambiental de los proyectos de infraestructura del caso de estudio.

N°	Nombre de Estudio	Titular del Proyecto	IGA	Formulador	Aprobado por	Doc. y fecha Aprobación
1	Actualización del Estudio de Impacto Socio Ambiental del Proyecto Corredor Vial Amazonas Norte, Tramo Tarapoto - Yurimaguas	ProInversión	EIA-d	ECSA Ingenieros	MTC	R.D. N° 061-2004-MTC/16 28/12/2004
2	Estudio de Impacto Ambiental Detallado del proyecto de "Construcción de la Vía de Acceso Terrestre al Terminal Portuario de Yurimaguas"	Consortio Constructor IIRSA Norte	EIA-d	LOHV Consultores EIRL	MTC	R.D. N° 224-2011-MTC/16 26/12/2011
3	Estudio de Impacto Ambiental Detallado del proyecto "Nuevo Terminal Portuario Yurimaguas - Nueva Reforma"	Concesionaria Puerto Amazonas S.A. (COPAM S.A.)	EIA-d	EVSA Consulting SAC	MTC	R.D. N° 405-2013-MTC/16 14/10/2013

(continua)

³ Para dar viabilidad al nuevo puerto se hicieron dos instrumentos: uno para la vía al puerto que sería ejecutado por el Estado, y el puerto en sí cuya ejecución que se dio en concesión.

⁴ El concesionario COHIDRO presentó su solicitud de desistimiento del EIA-d el 19/12/2019, y este fue aprobado por SENACE el 15/01/2020, concluyendo así con el procedimiento de certificación ambiental según RD No 006-2020-SENACE-PE/DEIN.

(continuación)

4	Estudio de Impacto Ambiental detallado (EIA-d) del Proyecto Hidrovía Amazónica: ríos Marañón y Amazonas, Tramo Saramiriza-Iquitos-Santa Rosa; Río Huallaga, Tramo Yurimaguas-Confluencia con el Río Marañón; Río Ucayali, Tramo Pucallpa-Confluencia con el Río Marañón.	Concesionario Hidrovía Amazónica S.A (COHIDRO S.A.)	EIA-d	ECSA Ingenieros	SENACE	Desistido R. D. N° 00006-2020-SENACE-PE/DEIN 15/01/2020
5	Evaluación Ambiental Estratégica del Corredor Vial Amazonas Norte con una longitud de 960.4 km., correspondiente a los tramos Paita - Piura; Piura - Olmos; Olmos - Corral Quemado; Corral Quemado - Rioja; Rioja - Tarapoto; Tarapoto - Yurimaguas, tomo I, II	ProInversión	EAE	ECSA Ingenieros	MTC	R.D. N° 025-2005-MTC/16 22/06/2005
6	Evaluación ambiental y social con carácter estratégico del área de influencia del plan hidrovialario comercial peruano	MTC-DGTA	EASCE	ECSA Ingenieros Serman & Asociados CSI Ingenieros	MTC	- 10/2014

Fuente: SENACE (2019b; 2020)

Para sortear este obstáculo, el de trabajar con los impactos de cada infraestructura de forma individual, podríamos dejar de ver a las tres o cuatro infraestructuras como entes individuales y apreciarlas como una sola infraestructura de gran escala en construcción. Al dejar de ver a las infraestructuras como entes individuales, se deja de lado el análisis de los impactos individuales que son difíciles de distinguir. Entonces, el crecimiento urbano, efecto del desarrollo de esta infraestructura de gran escala se podría analizar a partir del registro de cambios del área urbana en diferentes años. Esta es la estrategia que sigue este trabajo de investigación. Si bien, el crecimiento urbano se puede deber a muchas causas. En el caso de estudio, se ha visto la gran influencia de los ciclos económicos-productivos (ver acápite 3.4). Entonces, aunque el desarrollo de un corredor no sea el único actor que afecta al territorio, es lo por menos uno de los principales si no el principal.

Finalmente, la forma del nuevo conocimiento que cubra el vacío identificado será una descripción de los cambios en el crecimiento urbano de forma histórica a

través de imágenes satelitales, espaciadas temporalmente cada 5 años como sugiere Bhatta (2010).

2.2.2.2. Evaluación Ambiental Estratégica (EAE)

Existen otros estudios que usan otras herramientas aparte de la Evaluación de Impacto Ambiental. Con motivo del corredor multimodal IIRSA-Eje Amazonas, se han formulado otros dos estudios: uno del corredor vial hasta Yurimaguas y otro del hidrovial (ver Tabla 3. Filas 5-6). El primero se denomina Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) y el segundo Evaluación Ambiental y Social con Carácter Estratégico (EASCE)⁵. Estos dos estudios tienen un alcance mayor a los EIA-d; se realiza sobre políticas, programas y planes; a diferencia de los EIA-d que están dirigidos a proyectos. Sin embargo, la respuesta que se da en torno a cuáles serían los posibles efectos que tendrían las ciudades amazónicas es general (expansión de ciudades y ocupación informal); debido a la escala de la evaluación. Más aun, cuando proponen medidas para mitigar lo hacen a nivel de estrategias. Por lo que, ni los EAE ni los EIA-d no responden de forma cuantitativa a los efectos en crecimiento urbano que esta investigación pretende.

2.2.3. Crecimiento urbano espacial

El crecimiento urbano hace referencia a la expansión física y demográfica de un área edificada, ya sea esta una ciudad o un centro poblado de menor tamaño (Bhatta, 2010).

Para abordar el crecimiento urbano, la disciplina de la geografía urbana es un soporte valioso pues su concentración en la manifestación física del fenómeno en términos de localización y distribución en el espacio antes que las propiedades del fenómeno en sí, permite una aproximación directa. Por ello, esto ha decantado en el uso de técnicas de análisis geográfico informático (geomática) como los sistemas de información geográfica, teledetección, y la cartografía para el estudio del crecimiento urbano en términos de la forma y estructura física que se aprecia en el espacio en diferentes lugares y tiempos: crecimiento espacial de una ciudad (Bhatta, 2010, pp. 1-2). Tener en cuenta que, la producción de información

⁵ Describir las diferencias entre EAE y EASCE no son materia de esta investigación, para ello se invita a revisar (Linares, 2019, p. 17).

espacial para la planificación de las ciudades facilitarían también su gestión y administración.

De acuerdo a Bhatta (2010), científicos, gestores y planificadores de ciudades han diseñado una agenda de investigación urbana. Dentro de esta, el entendimiento de los patrones urbanos, procesos dinámicos, y las relaciones entre estos es uno de los objetivos primordiales. Preguntas que requieren respuestas son las siguientes: “cómo están organizadas las ciudades espacialmente; dónde y cuándo aparecerán las ocupaciones; por qué y cómo algunos procesos urbanos resultan en patrones de crecimiento específicos; y finalmente, cuáles podrían ser las consecuencias de estos patrones y/o procesos”. Una herramienta para la búsqueda de respuestas a las preguntas anteriores son los sensores remotos por su facilidad de observación de grandes áreas terrestres permite visualizar los cambios en entornos urbanos y caracterizarlos (Bhatta, 2010, p. 49).

2.2.3.1. Patrones y procesos de crecimiento urbano

El estudio del crecimiento urbano se puede abordar de diversas maneras: para establecer las causas, consecuencias, medidas de mitigación o poder definir patrones y procesos. En este último enfoque (patrones y procesos) se puede hacer una precisión: La diferencia principal radica en que el estudio de un “patrón” de crecimiento urbano se hace en un tiempo específico o puntual. Concentrándose en la forma, tamaño y configuración del arreglo espacial en dicho momento. Es, por lo tanto, un fenómeno estático. En cambio, para estudiar un “proceso” de crecimiento urbano es necesario hacerlo en varios tiempos o a lo largo de un periodo, y se analiza el cambio de la estructura espacial en este lapso. Siendo así, un fenómeno dinámico (Bhatta, 2010, pp. 10-12).

Además, tanto los patrones como los procesos se asientan sobre el concepto de cobertura de suelo. “Patrón de cobertura urbana se refiere al arreglo o distribución espacial del ambiente edificado”. En ese sentido, “crecimiento urbano es la acumulación de incrementos del suelo convertido en ambiente edificado” (Bhatta, 2010, pp. 10-12). Wilson et al (2003) hace una clasificación de patrones de crecimiento urbano basado en la distancia o relación frente a áreas ya acondicionadas, en la que distingue 3 categorías de crecimiento urbano: relleno,

expansión y periférico. Este último puede ser un crecimiento urbano de tres maneras: aislado, de rama lineal, de rama agrupada. (ver Figura N° 6)

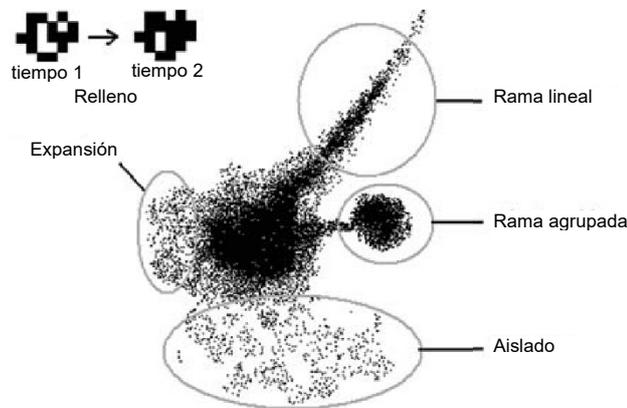


Figura N° 6. Diagrama esquemático de los 5 tipos de patrones de crecimiento urbano basado en Wilson et al (2003): relleno, expansión, aislado, de rama agrupada y de rama lineal.

Fuente: (Bhatta, 2010)

El patrón denominado relleno, aplica para aquella área vacante rodeada de terrenos ya construidos y que promueve que esta área se construya. Habitualmente se utilizan los píxeles de imágenes para hacer este análisis. Para la categoría de relleno, el 40% o más de los píxeles que rodean al terreno vacante deben estar edificada. Un crecimiento de expansión es también una conversión de los píxeles, pero esta vez solo es necesario que el 40% o menos del área circundante esté acondicionada. Por lo cual, resulta caracterizando una expansión de la actual mancha urbana. Por último, el crecimiento periférico ocurre por un cambio en la cobertura de suelo alejado de un área urbana existente. Los 3 tipos de crecimiento periférico son los siguientes: [1] aislado - las cuales hacen construcciones rodeadas de área no edificada, otros autores hacen un símil con una perforación en el hábitat natural en donde se deja un agujero edificado; [2] de rama lineal – este crecimiento urbano es provocado por una nueva carretera o corredor, lo cual genera un cambio en la cobertura de suelo que toma la misma forma lineal rodeada por área no edificada y alejada del área urbana consolidada. Por último [3], crecimiento de rama agrupada – este crecimiento forma un conglomerado alejado del área urbana consolidada y generalmente es denso y compacto (Wilson et al (2003), en Bhatta (2010)).

2.2.3.2. Crecimiento urbano disperso (urban sprawl)

El término '*urban sprawl*' se introdujo en el debate académico en la década de los 50's para designar una forma de crecimiento de la ciudad que se daba en Estados Unidos durante el auge de vivienda después de la Segunda Guerra Mundial. Época en la cual, se invadieron grandes terrenos agrícolas y de bosques de forma muy rápida destinándose a usos residenciales, industriales y comerciales. Además, dichas áreas estaban ubicadas "generalmente a lo largo de las principales vías de comunicación y adyacente a los límites definidos de la ciudad" (Hardin et al., 2007; Nechyba y Walsh, 2004). Desde su origen, el término ha sido ampliamente usado fuera de EEUU también, para referirse a un patrón de crecimiento urbano con una connotación negativa y que se trata de evitar. Este patrón no tiene una forma regular, es desordenada y es el resultado de falta de control y planeamiento afirma Bhatta (2010).

Una revisión bibliométrica sobre '*urban sprawl*' realizada por Zhang et al (2023) muestra que aún no hay un consenso general en la definición de este término. Algunas características comunes en las definiciones de '*urban sprawl*' de investigadores de occidente son mencionadas por los autores, entre ellas: densidad baja, cobertura de suelo homogéneo, patrones fragmentado y disperso, baja accesibilidad, etc. Sin embargo, enfatizan que "las características de '*urban sprawl*' no son uniformes a lo largo del mundo". Entonces, a pesar que se han descrito características comunes en las definiciones, estas deben revisarse para cada país y región. Por otro lado, también menciona las palabras clave asociadas al fenómeno: "'urban sprawl' emerge como un patrón especial de "crecimiento urbano" y "expansión urbana", lo que es inseparable de "forma urbana", "cobertura de suelo" o "cambio de cobertura de suelo".

Asimismo, el trabajo de Zhang et al (2023) permite visualizar el debate en torno a la definición conceptual de '*urban sprawl*' y su multidimensionalidad: mientras que algunos "Investigadores han intentado definir a '*urban sprawl*' en términos de características en diferentes dimensiones, tales como: localización, densidad, patrón espacial, cobertura de suelo, impactos y fuerzas motrices"; otros se enfocan en definir '*urban sprawl*' en torno a sus causas y consecuencias. Una de ellas es el "la falta de planeamiento" -Esto mismo se observa en los documentos de la Nueva Agenda Urbana (ONU-Habitat, 2017), que traduce '*urban sprawl*'

como ‘crecimiento incontrolado’ en su versión en español-. La discusión de Zhang et al (2023) continua, mencionando que a muchos investigadores les parece que la vinculación a las causas y consecuencias dificulta la definición conceptual. Citando a Jaeger et al (2010): “las causas y consecuencias del ‘urban sprawl’ no son lo mismo que el fenómeno en sí mismo y no deberían ser incluidas en el concepto”. Esto debido a que las causas y consecuencias son múltiples, varían de región en región, y es difícil incluirlas todas en una sola definición conceptual.

En el contexto latinoamericano, el estudio y regulación sobre ‘urban sprawl’ ha recibido relativamente menor atención que en Estados Unidos, menciona Lungo (2001), entre algunos motivos, lista los siguientes: 1) al proceso de urbanización en Latinoamérica fue más tardío, 2) el dominio tradicional de las ciudades capitales, con un patrón de crecimiento concentrado en áreas centrales; y 3) la ocupación de asentamientos ilegales en la periferia urbana fuera de los límites de la regulación urbana, e ignoradas por la inversión pública y privada. Es esta última causa la que más atención ha recibido, mientras que en Estados Unidos el área de crecimiento de la ciudad “se caracterizaba por zonas residenciales de grupos de ingresos medios y altos, y un alto valor comercial bien conectado al sistema de transporte promoviendo el automóvil”. En Latinoamérica, “las áreas metropolitanas presentaban un paisaje de pobreza, patrones de uso de suelo informal e ilegal, falta de infraestructura, instalaciones públicas y servicios básicos”. En efecto, ‘la barriada’ ha sido un tema de investigación predominante en el Perú. Aunque los términos en los que se le estudia han ido ampliándose y variando con el tiempo, los casos de estudio siguen teniendo a Lima, la ciudad capital, como escenario principal (Calderón, 2020). Tal vez por lo anterior, tanto el contexto como las preocupaciones, es que el enfoque de estudio de ‘urban sprawl’ en nuestro medio ha ido girando más en torno a las causas, como la informalidad, por ejemplo. Algunas investigaciones recientes, como la de Torres (2016) presenta una evolución de los estudios de la informalidad de suelo urbano, corrientes y paradigmas. En donde es frecuente la elaboración de sugerencias hacia el Estado que es uno de los actores clave que puede regular el acceso a la vivienda y el suelo. También bajo la diferenciación ‘formal’ o ‘informal’ de la expansión urbana, un estudio realizado por Espinoza y Fort (2020) para la Asociación de Desarrolladores Inmobiliarios (ADI) menciona que la ‘expansión urbana informal’

sigue siendo un proceso continuo en muchas ciudades del Perú, trayendo consigo una baja calidad de vida para sus residentes por la carencia de servicios urbano.

Para los fines de esta investigación se usó una definición sencilla, que sirva de base para la cuantificación. Se ha optado por traducir *'urban sprawl'* por *'crecimiento urbano disperso'*. Esta denominación logra especificar una característica visual en el espacio intrínseca del fenómeno, es decir, se refiere al proceso espacial (ver Figura N° 7.a) más allá de las causas; ventaja que no presentan los términos *'informal'* o *'incontrolado'*. Por lo tanto, una definición multidimensional de crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*) en torno a su manifestación en el espacio dejando de lado las causas y consecuencias, ha sido encontrada en la investigación de Jaeger y Schwick (2014):

“Crecimiento urbano disperso es un fenómeno que puede ser percibido visualmente en el paisaje. Un paisaje sufre de crecimiento urbano disperso si es infiltrado por una ocupación urbana o edificaciones individuales y el consumo de suelo por habitante o trabajo es alto. Así, mientras mayor sea el área edificada en cierto paisaje (cantidad de superficie edificada), más dispersa sea esta área edificada en el paisaje (configuración espacial de la superficie edificada), y más alta sea el área edificada por habitante o trabajo (menor intensidad de utilización de la superficie edificada); mayor será el grado de crecimiento urbano disperso”.

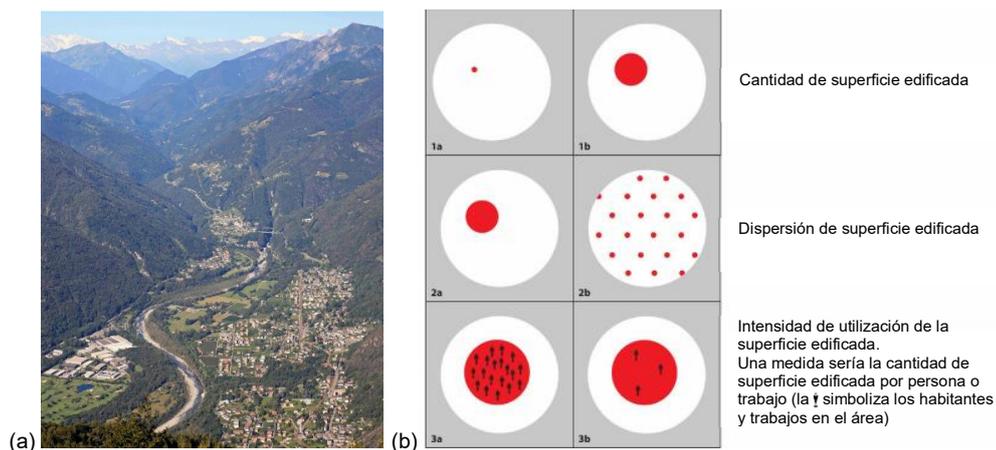


Figura N° 7. Esquema explicativo del concepto de crecimiento urbano disperso (a) basado en tres dimensiones para su definición (b)

Fuente: (Jaeger y Schwick, 2014)

No obstante, es importante resaltar la necesidad de una definición para la región Latinoamericana. “Es necesario documentar las características de crecimiento

disperso en el contexto de países en desarrollo, contribuyendo a una definición y una medición que sea universal y comparable” como mencionan Zhang et al (2023).

2.2.3.3. Causas y consecuencias de crecimiento urbano y crecimiento urbano disperso (urban sprawl)

Bhatta (2010) presenta también una recopilación de las causas que producirían crecimiento urbano en general y también el crecimiento urbano disperso (sprawl) en particular. Pese a que algunas causas se repiten para ambos (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Causas de crecimiento urbano que resultarían en crecimiento urbano compacto o disperso

Causas de crecimiento Urbano	Crecimiento compacto	Crecimiento disperso
Crecimiento poblacional	•	•
Independencia en la decisión		•
Crecimiento económico	•	•
Industrialización	•	•
Especulación		•
Expectativas de incremento de valor del suelo		•
Actitud de demanda de terrenos		•
Disputas legales		•
Geografía física		•
Impuesto a la propiedad y construcción		•
Costo de vida y propiedad		•
Falta de vivienda accesible		•
Demanda de más espacios para vivienda	•	•
Regulación pública	•	•
Transporte	•	•
Calzada de carretera ancha		•
Vivienda unifamiliar		•
Núcleo familiar	•	•
Mercado de crédito y capital		•
Políticas gubernamentales de desarrollo		•
Falta de políticas apropiadas de planeamiento		•
Incumplimiento de políticas de planeamiento		•
Deseo de un estilo de vida en el campo		•
Inversiones en el sector vivienda		•
Tamaño grande de terrenos		•

Fuente: (Bhatta, 2010)

Dentro de las causas de crecimiento urbano disperso mostradas por Bhatta (2010) en la Tabla 4, cabe resaltar las siguientes: el crecimiento demográfico, crecimiento

económico, especulación en el valor del suelo, actitud de demanda de terrenos, geografía física, costo de vida y costo de propiedad, falta de vivienda accesible, transporte, carretera ancha, la vivienda unifamiliar, falta de políticas apropiadas de planeamiento.

Por otro lado, las consecuencias pueden ser positivas y negativas. Siendo las negativas a menudo más citadas pues el crecimiento urbano disperso es uno de los mayores retos actuales. Dentro de las consecuencias negativas, Bhatta (2010) menciona las siguientes: [1] Costos de infraestructura y servicios pública se incrementan en relación si la ciudad es compacta o dispersa con el mismo número de habitantes, asimismo, esto aumenta la ineficiencia de operación y mantenimiento de la infraestructura y servicios públicos; [2] Ineficiencia energética, en lugares compactos el consumo de combustible para transporte es menor, así mismo con la provisión de infraestructura para abastecer de electricidad; [3] disparidad del bienestar, debido a la distancia y limitación en el financiamiento de servicios, la periferia es bloqueada de servicios de calidad, lo cual trae consecuencias en la salud y otros problemas sociales; [4] impactos en la fauna y ecosistema alrededor, no solo los bosques disminuyen sino también los espacios abiertos, [5] pérdida de suelo para la agricultura, [6] incremento de temperatura, al aumentar la cantidad de área impermeable, materiales como pavimento y concreto tienden a aumentar la temperatura percibida en los espacios urbanos; [7] baja calidad de aire, [8] impactos en calidad y cantidad de agua, el área impermeable urbana presentará problemas para el drenaje pluvial, [9] impactos en el salud pública y social, entre otros.

2.2.4. Desarrollo de infraestructura de transporte y crecimiento urbano disperso (urban sprawl)

A menudo se reconoce al desarrollo del transporte como una de las causas del crecimiento urbano disperso (Bhatta, 2010). Sin embargo, es menos conocido cómo y por qué. Un estudio reciente de Garcia-López (2019) hace un análisis comprehensivo de la relación causal entre estas variables. Presentando así, una revisión de la literatura sobre el tema.

El primer modelo en relacionar al transporte y crecimiento de una ciudad es el clásico modelo de ciudad monocéntrica desarrollado por Alonso (1964), y

mejorado por Mills (1967; 1972), Muth (1969) el cual plantea que, entre otras cosas, “a medida que los costos de transporte van haciéndose menores [y la accesibilidad aumenta], las personas comienzan a alejarse del centro de la ciudad. Haciendo que la ciudad se expanda” (Pratama et al., 2022). A este centro de la ciudad también se le denomina CBD por sus siglas en inglés: *central business district*. Uno de los supuestos del modelo monocéntrico es que “la red de infraestructura de transporte radial cubre la ciudad del mismo modo permitiendo el mismo acceso hacia un único centro de la ciudad o CBD, desde cualquier punto ubicado a la misma distancia. Esto, conduce a: 1) desarrollo urbano continuo y 2) una reducción homogénea de la intensidad del uso de suelo (densidad poblacional) a medida que la población se aleja del CBD”. En consecuencia, el modelo monocéntrico también predice que “mejoras en el transporte promueven tanto [1] una expansión de la ciudad, con nuevo y continuo desarrollo de suelo residencial; como un incremento en población urbana” (García-López, 2019).

Otros autores han intentado hacer extensiones al modelo monocéntrico, por ejemplo, Anas y Moses (1979) y Baum-Snow (2007). Anas y Moses (1979) presentan el caso de dos modos de transporte en competencia: el primero una red densa de calles con buses que cubren la ciudad, y segundo, un sistema de alto tránsito distribuido de forma radial. Concluyendo que el área de suelo residencial de la ciudad, su forma y tamaño, depende del tamaño de la red de transporte”. Por su parte, Baum-Snow (2007) encontró que el desarrollo de carreteras nacionales ha afectado la densidad de los centros de las ciudades norteamericanas entre 1950 y 1990, mencionando que “una carretera nueva que pase por el centro de la ciudad reduce la población del centro en 18% aproximadamente. Además, estima que, de no haberse construido esta carretera, la población del centro de la ciudad hubiera crecido en 8%”. Aunque en el centro de las ciudades se haya presentado una disminución en la cantidad de población, como conjunto toda la ciudad aumentó su población total en el periodo analizado. Dejando entrever que, el aumento de población fue mayor en zonas alejadas del centro, aunque esta población no-central no fue parte de las variables analizadas por Baum-Snow (2007).

Lo que no explica el clásico modelo monocéntrico o sus extensiones es cuándo la expansión urbana causada por una mejora en el transporte tendrá un patrón

espacial particular, como un crecimiento urbano disperso (urban sprawl), por ejemplo, y cuando no. De eso se ocupa Garcia-López (2019), estudiar la causalidad del desarrollo de redes de transporte (carreteras) y el patrón de ocupación de suelo de forma fragmentada, dispersa y aislada (crecimiento urbano disperso). Garcia-López (2019) aporta en la discusión teniendo como unidad de observación el cambio de 579 ciudades de Europa, y el sistema antiguo de ferrovías y carreteras que las une entre 1990 y 2012. Llegando a la conclusión que mejoras en la red de carreteras entre ciudades “causan dispersión (sprawl) en suelo de uso residencial al expandir las ciudades con patrones más desconectados basados en ocupaciones de menor densidad”. Asimismo, incrementa la fragmentación de terrenos urbanos e induce el desarrollo urbano en suelo de uso no-urbano alrededor del suelo residencial (Pratama et al., 2022). Garcia-López (2019) añade también, que hay otros factores que podrían estar causando esta dispersión (sprawl) en las ciudades europeas como “la diferencia de precios de suelo y vivienda entre el centro y la periferia de la ciudad, políticas de planificación urbana e impuestos locales, una evolución del mercado de préstamos inmobiliarios, entre otras en la literatura”.

2.2.5. Consideraciones de resolución de imágenes en aplicaciones de crecimiento urbano

La información provista por los sensores remotos puede ser de fuentes como imágenes satelitales o fotografías aéreas. Dentro de las ventajas que tienen esta información están las siguientes: la rápida adquisición sobre grandes áreas, posibilidad de datos en diferentes tiempos, ventajas digitales en el procesamiento y análisis y su integración con otras tecnologías como SIG, por ejemplo. El monitoreo de las áreas urbanas a través de las imágenes se usa principalmente para “determinar el tipo, cantidad y localización de la conversión de cobertura de suelo”. Por lo tanto, se tiene que evaluar ciertas consideraciones a la hora elegir qué tipo de información se requiere en relación a la aplicación donde será usada. Las siguientes líneas han sido escritas en base a los criterios y recomendaciones que se exponen en el libro de Basudeb Bhatta (Bhatta, 2010, p. 50).

Una imagen satelital tiene hasta 4 resoluciones: espacial, temporal, radiométrica y espectral. Estas están disponibles desde 1972 (el lanzamiento de Landsat) y a medida que pasa el tiempo los sensores tienen cada vez mejor calidad.

En cuanto a la resolución espacial, que se refiere al tamaño del pixel de la imagen, esta tiene relación con el tamaño del objeto a monitorear. En el caso urbano las resoluciones espaciales preferidas son de 10 m - 50 m por pixel dando así escalas de trabajo en un rango de hasta 1:15,000 – 1:100,000 (ver Tabla 5).

Tabla 5. Escalas de aplicación para imágenes de sensores remotos de diversas fuentes y resoluciones espaciales.

Tamaño de pixel en m	Definición	Plataforma/ Sensor ^a	Escala de aplicación
0.1 – 0.5	Resolución extremadamente alta	Explorador aéreo, fotografías aéreas, GeoEye-1 (pan), WorldView-1 (pan), WorldView-2 (ms)	1:500 – 1:5,000
>0.5 - 1	Resolución muy alta	IKONOS (pan), QuickBird (pan), OrbView (pan)	1:5,000 – 1:10,000
>1 - 4	Resolución alta	IKONOS (ms), QuickBird (ms), OrbView (ms), GeoEye-1 (ms), IRS (pan)	1:10,000 – 1:15,000
>4 - 12	Resolución media	IRS (pan), IRS (LISS-IV ms), SPOT (pan)	1:15,000 – 1:25,000
>12 - 50	Resolución baja	ASTER, IRS (ms), Landsat-TM/ETM+ (pan, ms), SPOT (ms)	1:25,000 – 1:100,000
>50 - 250	Resolución muy baja	Landsat MSS	1: 100,000 – 1: 500,000
>250	Resolución extremadamente baja	NOAA	>1: 500,000

Nota: ^a pan: pancromático; ms: multiespectral
Fuente: (Bhatta, 2010, p. 54)

“La resolución espectral se refiere al número y dimensión de intervalos de longitudes de onda en el espectro electromagnético al cual un sensor remoto es sensible”. Dentro del rango de luz visible en el espectro electromagnético es lo que conocemos como colores. Sin embargo, el sensor remoto puede detectar longitudes de onda fuera del rango visible, tales como el infrarrojo, y otras bandas. La resolución espectral y radiométrica es importante para detectar los cambios en la imagen. Debido a que cada objeto tiene un porcentaje diferente de respuesta al sensor. Lo que lo caracteriza en una imagen obtenida. Por lo tanto, es importante tener varias bandas y que cada ancho sea estrecho.

Con respecto a la resolución temporal para aplicaciones de monitoreo de cambio urbano la mayoría de investigadores utilizan de 5 a 10 años, en casos excepcionales por la carencia de datos utilizan 15 años. Algunos suelen usar 10 años, pues coincidentemente los censos se hacen también en ese lapso. Entonces, buscan acompañar a cada imagen con datos socioeconómicos abundantes. Finalmente, la resolución radiométrica del sensor se refiere a la

capacidad del sensor para diferenciar la radiación reflejada o emitida desde el terreno, es decir, detectar cierto nivel de diferencia de energía. Mientras más fina la resolución, mayor capacidad de detectar pequeños cambios.

2.2.6. Mapeo y monitoreo del crecimiento urbano

Entender cómo va cambiando el paisaje urbano usando los sensores remotos se puede hacer de diversas maneras. Si se estudian los cambios pasados o presentes se puede hacer con base en evidencia empírica, en cambio, si se quiere estudiar un cambio futuro, se requiere de simulaciones. Para el estudio de cambios pasados y presentes están las técnicas de mapeo de crecimiento urbano (si se aborda un patrón) y monitoreo de crecimiento urbano (si se trata de un proceso) y para el estudio del futuro o múltiples escenarios probables están los modelos de crecimiento urbano. Algunos de estos modelos requieren datos del pasado y presente, para proyectar un escenario futuro (Bhatta, 2010, pp. 65-66).

2.2.6.1. Técnicas de detección de cambio urbano

La detección de cambio se refiere a la “identificación de diferencias en el estado de un objeto o fenómeno mediante la observación en diferentes fechas”. Existen varias técnicas para identificar los cambios en datos de sensores remotos y ninguna es globalmente recomendada. Se tienen las siguientes: superposición de imágenes, diferencia o sustracción de imágenes, índice o fraccionamiento de imágenes, clasificación espectral-temporal, regresión de imágenes, Transformación del Análisis de la componente principal (PCA), Análisis del Vector de cambio (CVA), Redes Neuronales Artificiales (ANN), árboles de decisión, y Clasificación de imágenes y comparación post-clasificación. Este último es el método más popular, por su simplicidad (Bhatta, 2010, pp. 65-84).

La clasificación de imágenes se refiere al agrupamiento de los píxeles de la imagen según sus valores en unas cuantas categorías definidas, denominadas clases. Así, un píxel puede pasar de tener un valor numérico a un valor nominal, como clase agrícola, por ejemplo. Para clasificar imágenes digitales existen diversos métodos de clasificación. Sin embargo, todos tienen un producto final, el mapa temático con las clases definidas por el usuario.

Volviendo a la detección del cambio usando la técnica 'Clasificación de imágenes y comparación post-clasificación', una vez hecha la clasificación de las imágenes en dos tiempos diferentes digamos 'imagen a', y la 'imagen b' (ver Figura N° 8). Sobre estas nuevas imágenes se procede a hacer la comparación para identificar el cambio mediante una diferencia simple de imágenes. Uno de los productos usuales es el mostrado por la Figura N° 8 (un mapa de cambio).

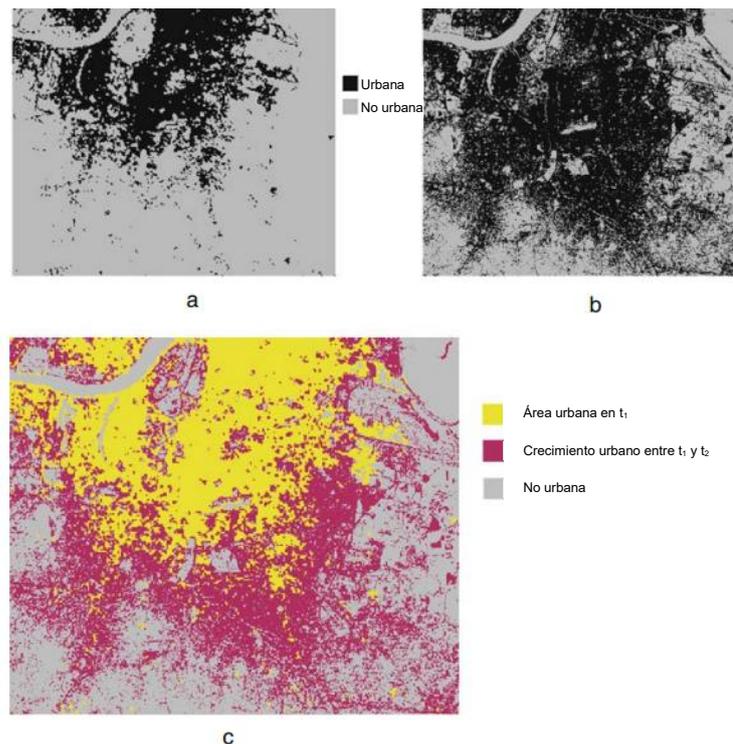


Figura N° 8. Ejemplo de detección de cambio urbano usando la técnica 'Clasificación de imágenes y comparación post-clasificación': en (a) y (b) se presentan imágenes clasificadas en los tiempos t_1 y t_2 respectivamente; y, en (c) se presenta el mapa de cambio urbano basado en (a) y (b).

Fuente: (Bhatta, 2010, p. 81)

2.2.7. Cuantificación y análisis del crecimiento urbano

Más allá de la visualización o detección del cambio urbano, también es de interés cuantificar el cambio y analizarlo. Es así, como se han incorporado herramientas para dicha medición, dentro de las más conocidas se encuentran: la matriz de transición, métricas espaciales, y estadística espacial (Bhatta, 2010, pp. 86-106).

2.2.7.1. Matriz de transición

Una matriz de transición muestra la transición de una clase de cobertura de suelo a otra en una tabla. Para ello, se colocan las clases de una clasificación de

cobertura de suelo en dos tiempos diferentes (t_1 ; t_2) en una matriz. Una clasificación t_1 en la primera columna y la clasificación t_2 en la primera fila, entonces los valores de área que no han cambiado de clase se mantienen en la diagonal principal. En los demás espacios se podrán encontrar las áreas que han cambiado de clase y se puede notar el origen y final viendo su columna y fila respectivamente. Sin embargo, la desventaja de esta herramienta es que “pierde el detalle espacial” (Bhatta, 2010, p. 86). En la Tabla 6 se muestra un ejemplo de una matriz de transición.

Tabla 6. Ejemplo de matriz de transición entre las fechas t_1 y t_2 para una clasificación de cobertura con 6 clases.

		Cobertura de suelo en el tiempo t_2						Total t_1
		Clase A	Clase B	Clase C	Clase D	Clase E	Clase F	
Cobertura de suelo en el tiempo t_1	Clase A	1,240	3	1	3	7	0	1,254
	Clase B	8	20,642	2,058	297	2,383	4	25,392
	Clase C	12	592	18,493	226	1,641	15	20,979
	Clase D	0	3	52	2,741	18	0	2,814
	Clase E	13	86	959	44	8,049	2	9,153
	Clase F	1	1	0	0	3	18,962	18,967
	Total t_2	1,274	21,327	21,563	3,311	12,101	18,983	

Nota: El número indica el área en km^2 . Fuente: (Bhatta, 2010, p. 81)

2.2.7.2. Métricas espaciales

Las métricas espaciales son “índices cuantitativos para describir la estructura y patrones espaciales de un paisaje a una escala y resolución específica”. Las métricas pueden aplicarse a parches (“un grupo continuo de píxeles de la misma categoría de cobertura de suelo”) de alguna cobertura de suelo, clases de cobertura de suelo, o mosaicos paisajísticos enteros (Bhatta, 2010, pp. 87-88).

Originalmente, las métricas espaciales se pueden encontrar con la denominación de métricas de paisaje. Estas fueron desarrolladas a finales de la década de 1980. Antes de su aplicación en áreas urbanas se han utilizado ampliamente en la ecología del paisaje (*landscape ecology*) para estudiar la estructura espacial (forma, tamaño, área, composición, etc) de los hábitats de diversas especies, y como esta estructura espacial afecta las interacciones de un ecosistema. Fuera del área de la ecología del paisaje se puede referir a estas como métricas espaciales (Herold et al., 2005).

“Las métricas espaciales siempre representan la heterogeneidad espacial en una escala espacial específica, determinada por la resolución espacial, la extensión del dominio espacial, y la definición temática de las categorías del mapa en un determinado tiempo. Cuando son aplicadas a datos de múltiples escalas o datos multitemporales, las métricas espaciales pueden ser usadas para analizar y describir el cambio en función del grado de heterogeneidad espacial”. Además. La combinación del uso datos de sensores remotos y métricas espaciales mejora la consistencia y detalle del análisis y modelamiento urbano, en comparación al uso por separado (Herold et al., 2005).

Existen dos categorías en el uso de las métricas, ya sea en la medición de parches (unidad básica de un paisaje) individualmente o de todo el paisaje. Siendo las métricas de paisaje las más complejas. Dentro de la categoría de métricas espaciales de parches, se ha desarrollado una gran cantidad de indicadores (McGarigal y Marks, 1995), y aún siguen en desarrollo (Sapena y Ruiz, 2019). La decisión de cual indicador usar depende del objetivo de cada investigación. Es usual usar más de una métricas pues cada indicador estudia diferentes cualidades (Bhatta, 2010, pp. 87-88; 127-128).

La investigación de Seto y Fragkias (2005) utilizó datos de sensores remotos y métricas espaciales para caracterizar patrones espaciales y temporales de cambio de cobertura de suelo urbano en 4 ciudades. Este estudio comparativo pretendía dar respuesta a preguntas como: ¿hay patrones comunes en ciudades de diferentes estados de desarrollo económico?, ¿se tiende hacia un patrón estándar? ¿qué pueden revelar estos patrones acerca de los procesos sociales y económicos? Para ello, primero, se detectó el cambio urbano usando datos multitemporales de sensores remotos, luego se elaboró un mapa de cambio, y finalmente se calcularon seis métricas espaciales para describir tres aspectos del paisaje urbano (tamaño absoluto, tamaño relativo y complejidad de área urbana). Las seis métricas escogidas fueron: área urbana total (UA), densidad de borde del área urbana (ED), dimensión fractal de parche promedio ponderado de área (AWMPFD), número de parches urbanos (NUMP), tamaño promedio de parche urbano (MPS), coeficiente de variación de tamaño de parche urbano (PSCOV) (Seto y Fragkias, 2005). Una recopilación y descripción de fórmulas que usan las métricas, valores límites se encuentran en un anexo del trabajo de McGarigal y

Marks (1995). A modo de ejemplo, en la Tabla 7 se presenta algunas métricas espaciales y su descripción.

Tabla 7. Ejemplos de métricas espaciales (métricas de paisaje)

N°	Cualidad representada	Métrica	Descripción
1	Tamaño	Área Urbana (en Ha)	Cantidad de superficie de suelo de la clase urbana.
3	Densidad	Número de parches (<i>Number of Patches</i>)	Un parche es un dominio espacial con características ambientales homogéneas. Para este estudio, sería continuas de cobertura urbana.
4	Complejidad de Forma	Razón de forma de parche promedio (<i>Mean Patch Shape Ratio</i>)	Mide la forma promedio de un parche, específicamente la razón perímetro-área. Valores bajos simbolizan formas regulares y valores altos representan formas complejas.
5	Contagio e intercalación	Índice de fraccionamiento (<i>Splitting Index</i>).	Mide el grado de aglomeración. y dispersión de parches (distribución espacial de la mancha). Valores altos significan pocas manchas grandes y continuas; y valores bajos significan muchas manchas dispersas.
6	Distancia al vecino	Distancia euclidiana más cercana al vecino (<i>Euclidean Nearest – Neighbor Distance</i>)	Es la distancia de un parche al parche más cercano de la misma clase. Distancia borde a borde. Pueden significar aislamiento o cohesión de los parches.

Elaboración propia a partir de MacGarigal y Marks (1995); Jaeger (2000); Bhatta (2012)

El análisis de crecimiento urbano usando métricas espaciales brinda la posibilidad de evaluar la componente espacial, esto es, el patrón espacial urbano cambiante, se pueden aplicar, como unidades de análisis, tanto a las áreas urbanas, o a la conversión de suelo (Seto y Fragkias, 2005; Bhatta, 2010, pp. 87-92).

Finalmente, existen varios paquetes de software que permiten el cálculo de estas métricas a partir de imágenes de tipo raster. Uno de los más populares es FRAGSTATS (McGarigal y Marks, 1995). Sin embargo, basado en el anterior se han desarrollado otros paquetes de uso masivo en software de Sistemas de Información Geográfica: como LecoS (Jung, 2016), un complemento para QGIS; y Patch Analyst, una extensión para ArcGis, por nombrar algunos.

2.2.7.3. Estadística espacial

La estadística espacial procesa información espacial usando modelos y procesos estadísticos, “estudiando las entidades y usando sus propiedades topológicas, geométricas o geográficas”. Incluso la frase es empleada para el uso de estadísticos (indicadores). Dentro de los tipos de estadística espacial se encuentra: autocorrelación espacial, heterogeneidad espacial, interpolación espacial, interacción espacial, entre otros (Bhatta, 2010, pp. 92-97).

Algunas aplicaciones de la estadística espacial se han registrado por Turner et al (2001): “identificar escalas espaciales a la cual un patrón se mantiene constante, interpolar y extrapolar datos de tipo punto para inferir la distribución espacial de la variable de interés”. En el ámbito del crecimiento urbano, la relación entre la densidad poblacional y la distancia al centro de negocios del distrito, para ello han desarrollado varios modelos que puedan explicar la variabilidad en el fenómeno observado, por citar un ejemplo (Bhatta, 2010, pp. 92-97).

2.2.8. Cuantificación del crecimiento urbano disperso (urban sprawl) usando métricas espaciales.

Dado que el crecimiento urbano disperso es uno de los mayores retos para las ciudades y medio ambiente latinoamericano (Lungo, 2001); la evaluación de este fenómeno es parte crucial si se pretende un desarrollo sostenible. Y para ello, es importante contar con indicadores cuantitativos del crecimiento urbano disperso para la toma de decisiones y planificación a futuro. Esto permitiría establecer objetivos y límites verificables sobre la calidad del ambiente de forma inequívoca (Jaeger et al., 2010; Jaeger y Schwick, 2014).

Pese a lo expuesto, Wilson et al (2003) menciona que siendo difícil tener siquiera una definición estándar de crecimiento urbano disperso, entonces su cuantificación y modelamiento es un desafío aún mayor. Por tanto, menciona también que, en lugar de modelar un crecimiento urbano disperso, es más conveniente cuantificar el crecimiento urbano, y dejar al analista decidir si el tipo de crecimiento urbano es o no disperso (sprawl).

En general, aplicaciones de cuantificación de crecimiento urbano disperso han usado las tres herramientas mencionadas en acápite anterior: matriz de transición,

métricas espaciales y estadística espacial (Bhatta, 2010). Sin embargo, de acuerdo al análisis bibliométrico de Zhang et al (2023), la literatura más citada y reciente se centra en el enfoque de medición y características del fenómeno de crecimiento urbano disperso; en ese sentido, las palabras claves asociadas a las técnicas de medición como “SIG”, “sensores remotos”, y “métricas de paisaje” han sido ampliamente usadas.

Adicionalmente, el crecimiento urbano disperso puede ser medido en escalas relativas (cuantificando sus propiedades) o absoluta (compacta o dispersa). El primero tiene la ventaja de permitir al analista decidir si se trata de crecimiento urbano disperso o no basado en indicadores. Estos indicadores son muchas veces métricas espaciales. A menudo “los investigadores usan toda la ciudad como unidad de análisis para calcular las métricas, lo cual podría reflejar la situación de dispersión de toda la ciudad” (Bhatta, 2010).

Una necesidad recurrente es la falta de claridad expuesta entre el fenómeno a ser medido (crecimiento urbano disperso) y la característica del fenómeno que mide la métrica. También se requieren estudios del comportamiento de la métrica y estudios comparativos para saber cuál es la más apropiada (Nazarnia et al., 2019).

En breve, la técnica más usada para medir la extensión de crecimiento disperso usando SIG y sensores remotos ha sido el método de la entropía. Dentro de esta categoría la entropía de Shanon es tal vez la más usada (Bhatta, 2010; Nazarnia et al., 2019). Sin embargo, recientemente, la investigación de Nazarnia et al (2019) concluye que, a pesar de que el método de entropía haya sido usado por más de dos décadas, la entropía no es la métrica más apropiada. Tras haber analizado siete modelos simples de distribución espacial de áreas urbanas y seis casos de estudios reales, Nazarnia et al. (2019) concluyen que la entropía no cumple con todas las 13 condiciones para la definición de ‘urban sprawl’ dadas por Jaeger et al (2010). La entropía solo cumple 5 de las 13 condiciones. Dentro de estas condiciones se encuentran: 1) interpretación intuitiva; 2) simplicidad matemática; 3) modesto requerimiento de datos; 4) baja sensibilidad a parches de área urbana muy pequeños; 5) reacción monótona ante incrementos de área urbana; 6) reacción monótona ante incrementos de distancia entre dos parches de área urbana dentro de una misma escala de análisis; 7) reacción monótona ante

incrementos de la dispersión de tres parches de área urbana, 8) misma dirección de respuesta de la métrica ante proceso de los criterios 5, 6, 7; 9) reacción continua ante la unión de dos parches urbanos; 10) independencia de la métrica respecto de la ubicación del patrón de parches urbanos dentro del área de análisis; 11) reacción continua ante el aumento de la distancia entre dos parches urbanos más allá de la escala de análisis, 12) homogeneidad matemática; 13) matemáticamente aditivita. Entonces, Nazarnia et al. (2019) sugieren el uso de otras métricas que sí cumplen todas las condiciones, entre ellas, mencionan a: Proliferación Urbana Ponderada (WUP) y Permeabilidad Urbana (UP).

En esta investigación lo que se pretende es describir y cuantificar la variación de la configuración espacial de una ciudad en el tiempo de desarrollo de una infraestructura de gran escala, no es, por tanto, una medida absoluta sino más bien relativa del grado de crecimiento urbano disperso. Así, “si una ciudad se está convirtiendo en el patrón disperso con el paso del tiempo se puede visualizar a través de análisis multitemporales” (Bhatta, 2010). Este análisis multitemporal se hizo utilizando las métricas de Proliferación Urbana Ponderada (WUP) y Permeabilidad Urbana (UP).

2.2.8.1. Proliferación Urbana Ponderada (WUP)

La métrica Proliferación Urbana Ponderada (WUP) propuesta por Jaeger y Schwick (2014) se basa en las tres dimensiones mencionadas en la definición de crecimiento urbano disperso: [1] área edificada en cierto paisaje (cantidad de superficie urbana en esta investigación), [2] dispersión del área edificada en el paisaje (configuración espacial de la superficie urbana), y [3] densidad de utilización (intensidad de utilización del área edificada: densidad poblacional en esta investigación). Sin embargo, la unión de estas tres dimensiones para construir un solo indicador se basa en un producto ponderado (ver ecuación WUP en la Figura N° 9.a). Esta métrica es una mejora de la métrica Permeabilidad Urbana propuesta por Jaeger et al (2010). Por lo que basados en estas dos publicaciones (2010 y 2014), se hace una breve descripción en las líneas siguientes:

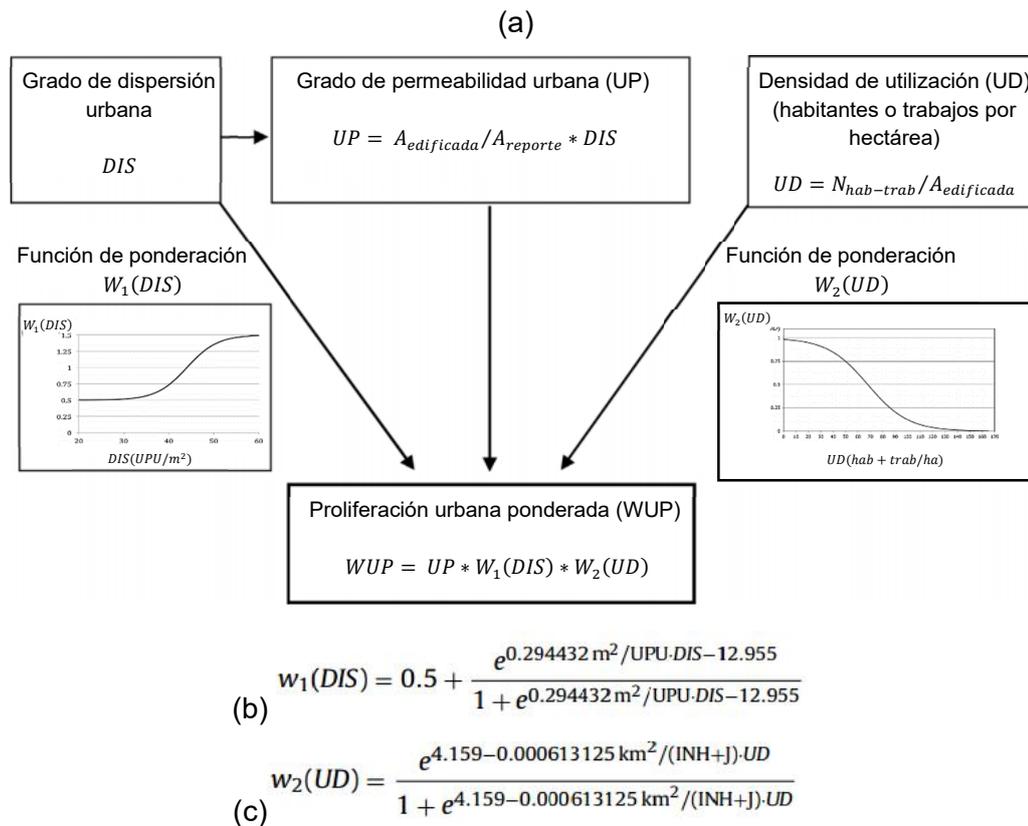


Figura N° 9. Esquema del proceso de cálculo de la métrica Proliferación Urbana Ponderada (WUP)

(a) cálculo de las componentes de WUP; (b) función del factor de ponderación w_1 ; y (c) función del factor de ponderación w_2 .

Fuente: (Jaeger y Schwick, 2014)

La primera medida es el grado de dispersión urbana (DIS), este se calcula a partir del promedio ponderado de las distancias de los centros de cualquier par de celdas urbanas que componen el ráster de insumo. Sin embargo, cada celda urbana tiene una distancia máxima a considerar frente a un par, este límite es denominado 'horizonte de percepción (HP)' (ver Figura N° 10). Distancias que excedan el horizonte de percepción no son contabilizadas en DIS, y son considerados ocupaciones urbanas independientes, es decir, el desarrollo urbano de uno no afecta al otro (Jaeger et al., 2010). Los autores, Jaeger y Schwick (2014), utilizan una analogía para explicar la idea detrás de la métrica: "en un pueblo, desde un centro de distribución se hace la entrega de paquetes a todas las edificaciones cercanas en un rango no mayor a una distancia límite (horizonte de percepción), el esfuerzo total que haría el repartidor sería una medida del grado de crecimiento urbano disperso". Como el esfuerzo varía según la ubicación del centro de distribución dentro del pueblo. Se cambia la ubicación del centro de

distribución a otra dentro de la zona del pueblo y se vuelve a hacer el cálculo del esfuerzo total de forma iterativa. Entonces, la medida final del crecimiento urbano disperso sería un promedio de los esfuerzos totales del repartidor (ver Ecuación 1). Por otro lado, el esfuerzo estaría en función de la distancia que recorre el repartidor, pero no sería la distancia en sí misma. Según el autor de la métrica para el caso del grado de crecimiento urbano disperso, una función adecuada sería la de la Ecuación 2 pues cumple con los requisitos que otros estudios exigen (Jaeger et al., 2010).

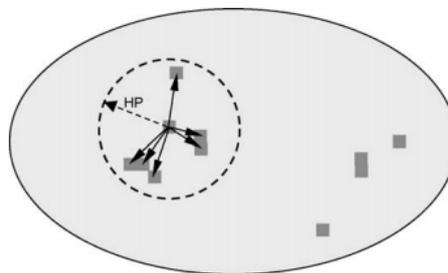


Figura N° 10. Representación del cálculo de la métrica DIS y horizonte de percepción (HP)

Nota: celdas de color gris oscuro representan áreas urbanas, mientras que gris claro representa a áreas no urbanas. Fuente: (Jaeger et al., 2010)

$$DIS = \frac{1}{A_{urbana}} \int_{\bar{x}} \frac{1}{\int_{\bar{y}} d\bar{y}} \int_{\bar{y}} f(|\bar{x} - \bar{y}|) d\bar{y}d\bar{x}$$

Ecuación 1. Fórmula de la métrica de dispersión urbana (DIS) en un entorno continuo

Donde: DIS es la métrica de dispersión urbana. A_{urbana} es el área urbana total. \bar{x} e \bar{y} son posiciones de celdas dentro del área urbana, $|\bar{x} - \bar{y}|$ es la distancia entre las celdas x e y , la cual debe ser menor a HP. HP es el horizonte de percepción. $f(|\bar{x} - \bar{y}|)$ es la función que define el esfuerzo para medir el crecimiento disperso entre un par de celdas x e y .

Fuente: (Jaeger et al., 2010)

$$f(|\bar{x} - \bar{y}|) = \left(\sqrt{\frac{2|\bar{x} - \bar{y}|}{1 \text{ m}} + 1} - 1 \right) \frac{UPU}{\text{m}^2}$$

Ecuación 2. Función apropiada para medir el crecimiento urbano disperso (urban sprawl)

Donde: \bar{x} e \bar{y} son posiciones de celdas urbanas, $|\bar{x} - \bar{y}|$ es la distancia entre las celdas x e y . $f(|\bar{x} - \bar{y}|)$ es la función que define el esfuerzo para medir el crecimiento disperso entre un par de celdas x e y . La unidad resultante de la función f es unidad de permeabilidad urbana por metro cuadrado (UPU/m²).

Fuente: (Jaeger y Schwick, 2014)

Por último, en un entorno de imagen raster binaria, es decir, una cuadrícula de celdas cuadradas de ancho “b” con solo dos valores posibles, una celda urbana y otra no urbana. La expresión de DIS puede simplificarse a la Ecuación 3,

facilitando el tiempo de cómputo. Así, la medida de DIS caracteriza la configuración espacial. Mientras más alta sea DIS, mayor el grado de dispersión de las áreas urbanas.

$$DIS(b) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{n_i} \left(\sum_{j=1}^{n_i} \left(\sqrt{\frac{2 \cdot d_{ij}}{1m} + 1} - 1 \right) \frac{UPU}{m^2} + WCC(b) \right)$$

$$WCC(b) = \left(\sqrt{0.97428 \cdot \frac{b}{1m} + 1.046} - 0.996249 \right) \frac{UPU}{m^2}$$

Ecuación 3. Fórmulas simplificadas para (a) la medida del grado de dispersión (DIS)

Donde: b es el ancho de la celda del ráster; n es el número total de celdas urbanas de ancho b, n_i denota el número de celdas pobladas urbana dentro del horizonte de percepción de la celda urbana j y d_{ij} es la distancia entre la celda i y la celda j, ambas celdas urbanas. La fórmula WCC(b) se utiliza para para tamaños de celda entre 0 y 1000m.

Fuente: (Jaeger y Schwick, 2014)

La segunda medida es la Permeabilidad Urbana (UP, por sus siglas en inglés): esta multiplica la primera medida DIS por la razón de superficie edificada respecto del área de la unidad de reporte de información, la cual es elegida por el analista de forma arbitraria (pero debe ser la misma para todo el análisis). Así, UP está combinando no sólo el grado de dispersión (DIS), sino también la cantidad de superficie edificada bajo análisis. Mientras mayor sea UP, mayor el grado de crecimiento urbano disperso.

La tercera medida es la utilización de la superficie edificada y se mide con la Densidad de Utilización (UD, por sus siglas en inglés) se calcula de la división del número de habitantes y/o trabajos sobre la cantidad de superficie edificada. Mientras menor sea la Densidad de Utilización (UD) mayor es el grado de crecimiento urbano disperso.

Finalmente, las funciones de ponderación w_1 y w_2 son exponenciales y dependen de DIS y UD, respectivamente. El factor w_1 varía de 0.5 a 1.5, mientras mayor sea la dispersión (DIS) mayor será w_1 . Por su parte, w_2 varía de 0 a 1, mientras mayor sea la densidad (UD) menor será el factor w_2 . Las funciones de ponderación para w_1 y w_2 se presentan en la Figura N° 9.b y c. Por último, la medida del grado de crecimiento urbano disperso utilizando la métrica WUP se obtiene al multiplicar UP y los factores de ponderación w_1 y w_2 (ver ecuación WUP en la Figura N° 9.a).

CAPÍTULO III: MATERIALES, MÉTODOS Y CASO DE ESTUDIO

En este acápite se describa de forma detallada el procedimiento utilizado en esta investigación para analizar el cambio de patrones de crecimiento urbano de una ciudad fluvial en la Amazonía peruana. Inicialmente, se usó la técnica de detección de cambio sobre imágenes satelitales en diferentes fechas, enfocándose en el área urbana, propiamente un monitoreo del crecimiento urbano. Las fechas se definieron de tal forma que cubran el ciclo de IIRSA (2000 en adelante) y algunas fechas anteriores como puntos de control. Todas estas fechas están espaciadas cada 5 años acorde a la literatura; Así, se eligieron los siguientes años: 1992, 1997, 2002, 2007, 2012, 2017, y 2022.

3.1. Materiales

De acuerdo a las consideraciones de resolución para las imágenes satelitales discutidas en el acápite 2.2.4.3 y 2.2.6 se escogieron para la adquisición de datos las imágenes satelitales mencionadas en la Tabla 8. Así, se adquirieron siete imágenes satelitales para los años de análisis entre 1992-2022.

Tabla 8. Imágenes adquiridas usando Google Earth Engine y sus características de resolución

Colección de imágenes en GEE	Resolución temporal	Fecha de captura	Resolución espacial y espectral	Producto
Landsat 5 'LANDSAT/LT05/C02/T1'	1992	1992-07-31	30 m Multiespectral	Tier 1 Collection 02
	1997	1997-10-01		
	2002	2001-12-31		
	2007	2007-01-30		
	2012	2011-07-20		
Landsat 8 'LANDSAT/LC08/C02/T1_RT_TOA'	2017	2016-11-22	30 m	T1_RT_TOA
	2022	2022-06-16	Multiespectral	C02

Elaboración propia

La adquisición y filtrado de las imágenes satelitales se hizo mediante la plataforma de Google Earth Engine⁶. Se utilizaron imágenes satelitales multiespectrales de las misiones Landsat 5 y Landsat 8, por los años de análisis requerido. Landsat 5

⁶ En el Anexo 2 y el siguiente link se encuentra el código usado para la descarga de las imágenes satelitales Landsat <https://code.earthengine.google.com/cfc6533cb0f70c6f66421843e9c9f7c6>

tiene imágenes disponibles desde 1984 a enero 2013. Landsat 8 febrero de 2013 al presente (USGS, s.f.). Luego, para la elección de las imágenes se utilizó como restricción que tuvieran menos de 20% cobertura de nubes. Así, como otras características expuestas en la tabla 7.

Finalmente, ambas colecciones (Landsat 5 y Landsat 8), tienen varios productos distinguiéndose primero por categorías Tier 1 (T1) y Tier 2 (T2); y luego por colecciones 1 y 2. Se utilizaron las colecciones de categoría Tier 1, pues cumplen los requisitos geométricos y radiométricos que se requiere, además de ser una colección validada. Esto no ocurre con Tier 2. Además, dentro del grupo T1, varios productos son ofrecidos: TOA (reflectancia sobre la atmosfera, por sus siglas en inglés), SR (reflectancia de la superficie, por sus siglas en inglés) y LST (temperatura de la superficie terrestre). En esta investigación se usó TOA en la colección Landsat 8. TOA es un método de procesamiento de imágenes, una transformación que usa la elevación solar y la distancia variable estacional de la Tierra (GEE, 2022). Luego, para caracterizar el estado de la colección de imágenes se tiene dos grupos *Collection 1 (C01)* y *Collection 2 (C02)*. La diferencia tiene que ver con la administración de los datos. Ambas son colecciones producidas principalmente por USGS. La colección 1 será mantenida por Earth Engine hasta enero del 2023. Mientras, que la colección 2, aumentará la disponibilidad en Earth Engine en la medida que se va acumulando la recolección de imágenes. La colección 02 es recomendada por USGS/NASA para análisis multitemporales (GEE, 2022).

Por otro lado, se adquirió también un modelo digital del terreno (DEM, por sus siglas en inglés) a través de la plataforma de *Google Earth Engine*, para poder obtener las pendientes del terreno y ayudar a caracterizar el crecimiento urbano. Se trata del DEM de NASA STRM v3, el cual fue obtenido por la misión de SRTM, y con posterioridad, corregido y distribuido por NASA (NASA JPL, 2020). El DEM utilizado tienen 30m de resolución espacial, al igual que las imágenes satelitales, y tiene la misma área de estudio. Para ello, se esbozó un vector de forma rectangular de 12.2 Km x 10.5 Km aproximadamente que cubriera toda la ciudad de Yurimaguas, así como el área en que se están desarrollando el punto intermodal de IIRSA.

3.2. Métodos

La Figura N° 11 resume los procedimientos que se siguió en la presente investigación (ver Figura N° 11). Primero, se debe escoger un método para la detección de cambio y así obtener el crecimiento urbano. El método elegido fue la “Clasificación de imágenes y comparación post-clasificación”. Por lo que, las imágenes satelitales adquiridas (ver acápite 3.1) pasaron primero por un proceso de clasificación supervisada de cobertura de suelo. La clasificación supervisada se realizó usando el software QGIS 3.22.12 ‘Biatowieża’ y el complemento ‘Semi-Automatic Classification Plugin’ (SCP) en su versión 7.10.10.

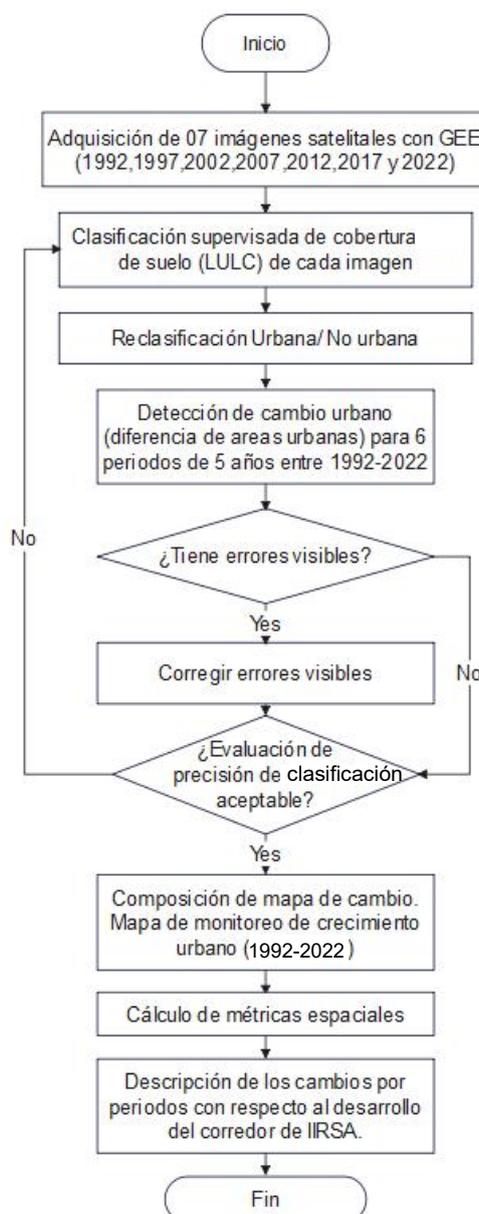


Figura N° 11. Esquema de procedimientos usados en la presente investigación.

Fuente: Elaboración propia a partir de Bhatta (2010), Olofsson et al (2014).

Para clasificar la imagen se usaron zonas de entrenamientos con clases conocidas definidas por el usuario como puntos de verdad y el resto de píxeles se completaron usando el algoritmo Random Forest. Para la definición de clases se partió de la clasificación de cobertura de suelo mundial de Karra et al (2021) disponible en (ESRI, 2022) y se hicieron modificaciones de acuerdo al caso de estudio. La Tabla 9 muestra las clases definidas para la zona de estudio.

Tabla 9. Definición de clases de cobertura de suelo utilizadas en la clasificación supervisada de Yurimaguas.

N°	Clases	Descripción
1	Área Urbana	Estructuras hechas por el hombre; vías urbanas y redes de carreteras; grandes superficies impermeables como estacionamientos, edificaciones: oficinas, viviendas, pueblos, asfalto y pavimentos.
2	Cuerpos de agua	Áreas donde el agua está presente predominantemente durante el año, podría no cubrir superficies temporales; contiene poca o ninguna vegetación, ríos
3	Árboles	Cualquier agrupación significativa de vegetación densa y alta (4.5m o +) usualmente con una cobertura densa y cerrada, por ejemplo, árboles maderables, grupos de arbustos densos, árboles frutales.
4	Pasto	Áreas abiertas cubiertas con pastos de forma homogénea sin la presencia de vegetación ya sea baja o alta. Cultivos salvaje o pastos sin parcelado; por ejemplo, praderas naturales, campos con árboles espaciados o ninguno.
5	Vegetación Inundada	Áreas de cualquier tipo de vegetación con una mezcla de agua la mayor parte del año, áreas inundables por temporadas, por ejemplo, zonas de ríos migrados, plantaciones de arroz, aguajales.
6	Nubes	Sin información de cobertura de suelo por la presencia de nubes
7	Playas	Bancos de sedimentos agrupadas en la riberas de los ríos amazónicos.
8	Sombra de nubes	Sin información de cobertura de suelo por la presencia de sombras de nubes
9	Tierra desnuda	Áreas de suelo expuesto con muy poca o ninguna vegetación durante el año, por ejemplo: suelo arcilloso, áreas de movimientos de tierras

Fuente: (Karra et al., 2021); (ESRI, 2022)

Luego de la clasificación supervisada en 9 clases para cada imagen, se realizó una reclasificación usando solo dos clases: urbano y no urbano. Una vez hecha esta reclasificación, se vectorizó y se aprovechó para corregir aquellas áreas detectadas como urbanas incoherentes en la realidad, pero posibles para el algoritmo computacional. Esta corrección de los errores obvios se refería al caso de las playas alrededor a los ríos que estaban como áreas urbanas, así también algunas áreas entre los bosques o cauces anteriores de los ríos.

Posteriormente, se hizo una segunda corrección del área interna y para evitar que un área detectada como urbano cambie a no urbano en una fecha posterior. Primero se explicará cómo se completó los vacíos al interior de la zona urbana de

1992. Si bien la clasificación deja áreas no urbanas al interior y las clasifica como tierra desnuda o áreas verdes, por no tener los mismos valores de bandas que las áreas edificadas. Estas son áreas urbanas por uso, y lo eran ya en 1992. Entonces para evitar errores en la estimación de áreas y patrones al interior del área urbana de 1992, se sustituyó esas áreas que estaban como no urbanas por urbanas. Además, se completaron también las zonas de frontera fluvial con el río Huallaga, que más allá que sí es probable que ocurriera crecimiento urbano en la frontera con el agua, se está enfocando el estudio en la expansión hacia el oeste donde hay mayor suelo disponible. Así, se podrá concentrar en observar los cambios externos a lo que era ciudad en 1992. Para hacer esta corrección en las imágenes restantes, primero se preparó un vector a partir de la reclasificación 1992, se hizo delimitando la periferia de 1992 y luego sustituyendo los valores de no urbano a urbano. Luego, se sustituyó el área interna de otro año por la de 1992. La otra corrección corresponde a una observación: algunas áreas urbanas detectadas por la clasificación en un año no se detectaban en otro año. Como es muy poco probable que un área urbana cambie de uso y se vuelva no urbana después de 5 años. Era más probable que sea un error de clasificación. Entonces, para corregir este, se sobrepuso el vector preparado 1992 con el vector de la reclasificación de 1997, y se generó un raster correspondiente a 1997 que considerara urbano si en algunos de los vectores hubiera al menos una capa como urbano. Finalmente, se repitió el proceso con la condición anterior para los años restantes 2002, 2007, 2012, 2017 y 2022.

La comparación post-clasificación se hace mediante una diferencia o sustracción de los mosaicos (raster) urbanos obtenidos anteriormente. Particularmente se hace esta operación en la calculadora raster de QGIS para detectar el cambio de la clase 'Área urbana' pues es el objetivo del análisis. Así se obtienen mapas con detección de cambio urbano para diversos años, propiamente un monitoreo de crecimiento urbano.

La evaluación de precisión de la clasificación se realizó a través del cálculo de una matriz de error y partir de ella, reportar los indicadores: [1] precisión general (*overall accuracy*), [2] precisión de usuario (*user's accuracy*), y [3] precisión del productor (*producer's accuracy*) (Olofsson et al., 2014). La matriz de error reporta la proporción de área que ha sido clasificada en una clase *i* y tiene una referencia

de clase j (ver Tabla 10). Entonces, la determinación de la matriz de error es en sí una comparación entre el mapa de clasificación a evaluar y una referencia de mayor calidad. Para ello, se definió un muestreo estratificado aleatorio de “n” píxeles (según Ecuación 4), los cuales tendrán valor conocido de la clasificación y de referencia (esta la dio el autor mediante fotointerpretación directa de la imagen satelital para cada año), y luego estos dos valores (los de la clasificación y de referencia) son comparados para ver si son concordantes. Las coincidencias se ubican en la diagonal principal de la matriz de error. Finalmente, los tres indicadores Precisión General (O), Precisión de Usuario (U), Precisión de productor (P) se calcularon a partir de la matriz de error (ver ecuaciones 5, 6 y 7) y fueron reportados para dar una idea transparente de la confiabilidad de la clasificación (Olofsson et al., 2014). En la presente investigación la evaluación de precisión de la clasificación se realizó en QGIS usando el complemento ‘Semi-Automatic Classification Plugin’ (SCP) en su versión 7.10.10 (Congedo, 2023).

Tabla 10. Matriz de error de cuatro clases en términos de proporción de área (p_{ij}).

		Referencia				Total
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	
Mapa	Clase 1	p ₁₁	p ₁₂	p ₁₃	p ₁₄	p _{1.}
	Clase 2	p ₂₁	p ₂₂	p ₂₃	p ₂₄	p _{2.}
	Clase 3	p ₃₁	p ₃₂	p ₃₃	p ₃₄	p _{3.}
	Clase 4	p ₄₁	p ₄₂	p ₄₃	p ₄₄	p _{4.}
	Total	p _{.1}	p _{.2}	p _{.3}	p _{.4}	

Nota: cada elemento de la matriz es la proporción de área mapeada como clase i que tiene una referencia de clase j. Fuente: (Olofsson et al., 2014)

$$n = \frac{(\sum W_i S_i)^2}{[S(o)]^2 + (1/N) \sum W_i S_i^2} \approx \left(\frac{\sum W_i S_i}{S(o)}\right)^2$$

Ecuación 4. Fórmula de Cochran (1977) que provee el tamaño de muestra para un muestreo aleatorio estratificado.

Donde: n es el tamaño de muestra aleatoria; N es el número total de unidades dentro del universo; W_i es la proporción de área mapeada con clase i; S_i es la desviación estándar del estrato i; S(o) es la desviación estándar esperada para la precisión general. Fuente: (Olofsson et al., 2014).

$$O = \sum_{j=1}^q P_{jj}$$

Ecuación 5. Precisión General (O) de una clasificación a partir de una matriz de error de q clases

Donde: O es la precisión general; q cantidad total de clases a evaluar; p_{jj} es la proporción de área mapeada como clase j y con referencia de clase j. Fuente: (Olofsson et al., 2014).

$$U_i = P_{ii}/P_i.$$

Ecuación 6. Precisión de Usuario de una clase i (U_i) a partir de una matriz de error.

Donde: U_i es la precisión de usuario de una clase i; P_{ii} es la proporción de área mapeada como clase i y con referencia de clase i, P_{i.} es la suma de proporciones de área mapeadas como clase i. Fuente: (Olofsson et al., 2014).

$$P_j = P_{jj}/P_{.j}$$

Ecuación 7. Precisión del Productor de la clase j (P_j) a partir de una matriz de error

Donde: P_j es la precisión del productor de una clase j; P_{jj} es la proporción de área mapeada como clase j y con referencia de clase j, P_{.j} es la suma de proporciones de área con referencia de clase j. Fuente: (Olofsson et al., 2014).

Por otro lado, para la cuantificación de crecimiento urbano en Yurimaguas, se distinguen dos grupos de métricas: 1) para analizar la variación de la cantidad de área edificada en el caso de estudio se usó la métrica de Superficie (área) sobre el cambio de cobertura de suelo urbano y sobre la clase de suelo urbano (Ganancia Urbana y Área Urbana Total); y 2) para analizar el patrón de crecimiento urbano disperso se usó la métrica de Proliferación Urbana Ponderada (WUP), complementado métricas de paisaje para hacer la descripción.

Por lo tanto, las métricas se usaron de acuerdo a cada análisis (ver Tabla 11). Para el *análisis I. Detección de cambio de cobertura de suelo urbano*, se emplearon las métricas Área Urbana Total y Ganancia Urbana (incremento detectado entre dos fechas), estas se calcularon en QGIS usando el complemento 'Semi-Automatic Classification Plugin' (SCP) en su versión 7.10.10.; para el segundo análisis *II. Grado de crecimiento urbano disperso* se empleó la herramienta USM Toolset de uso gratuito disponible como paquete para ArcGIS con licencia ArcInfo en su versión 10.3. Esta herramienta fue desarrollada en el Instituto Federal Suizo de Investigación en Bosques, Nieve, y Paisajes (WSL). Para más detalle sobre las expresiones usadas en la métrica revisar WUP revisar el acápite 2.2.8.1, el artículo de Jaeger y Schwick (2014) y el manual de USM Toolset (Nazarnia et al., 2016). Por último, el análisis de crecimiento urbano disperso requiere datos población en las mismas fechas que las imágenes para el indicador de densidad poblacional (población /área total) que se usará como UD. Para la estimación de población se usaron los datos de los censos 2003, 2007 y 2017 de INEI y se interpolaron los años restantes con fórmulas de crecimiento geométrico a partir de valores de crecimiento intercensal, para esta operación se utilizó una hoja de cálculo en Microsoft Excel 2016. Así también, la métrica WUP

requiere una unidad de reporte (un polígono). Esta unidad fue la misma área de estudio que se usó para recortar las imágenes satelitales en el primer paso antes de la clasificación supervisada (ver Lámina N° 3).

Tabla 11. Métricas usadas para cuantificar el crecimiento urbano de Yurimaguas.

N°	Cualidad representada	Métrica	Descripción	Dato Base
Análisis I: Detección de cambio de suelo urbano				
1	Superficie	Área Urbana Total (en Ha)	Cantidad de superficie de suelo de la clase urbana.	Raster de clase urbana a partir de Clasificación de cobertura de suelo, filtrando errores
2	Cambio de superficie	Ganancia urbana	Incremento de cantidad de superficie de suelo de la clase urbana entre dos imágenes separadas 5 años	Raster de Detección de cambio entre cobertura de clase urbana de dos fechas separadas 5 años.
Análisis II: Grado de Crecimiento urbano disperso				
3	Configuración espacial	Grado de Dispersión Urbana (DIS)	Mide la dispersión del área edificada con base en las distancias entre dos puntos. Estos puntos son centros de todas las celdas urbanas que componen el ráster de insumo. La unidad es UPU/m ²	Raster de clase urbana a partir de Clasificación de cobertura de suelo, filtrando errores
4	Utilización del área edificada	Densidad poblacional (UD)	Cantidad de personas por unidad de superficie de clase urbana. Mientras mayor sea UD mayor el nivel utilización del área edificada. La unidad es Hab/km ²	Población. Datos censados de población del INEI e interpolación a partir de ellos. Área Urbana total.
5	Grado de Crecimiento urbano disperso	Permeabilidad Urbana (UP)	Es una medida de cuanto área edificada se ha infiltrado en un paisaje. Tiene una unidad propia : Unidad de Permeabilidad Urbana (UPU) por metro cuadrado: UPU/m ²	DIS, Área Urbana Total y área del vector unidad de reporte.
6	Grado de Crecimiento urbano disperso	Proliferación Urbana Ponderada (WUP)	Mide el grado de crecimiento urbano disperso. Tomando en cuenta la cantidad de área edificada, la configuración espacial (DIS) y el nivel de utilización de esta (UD). La unidad es UPU/m ²	UP, DIS, UD, funciones w1, w2.

Elaboración propia a partir de Bhatta (2012); Jaeger y Schwick (2014)

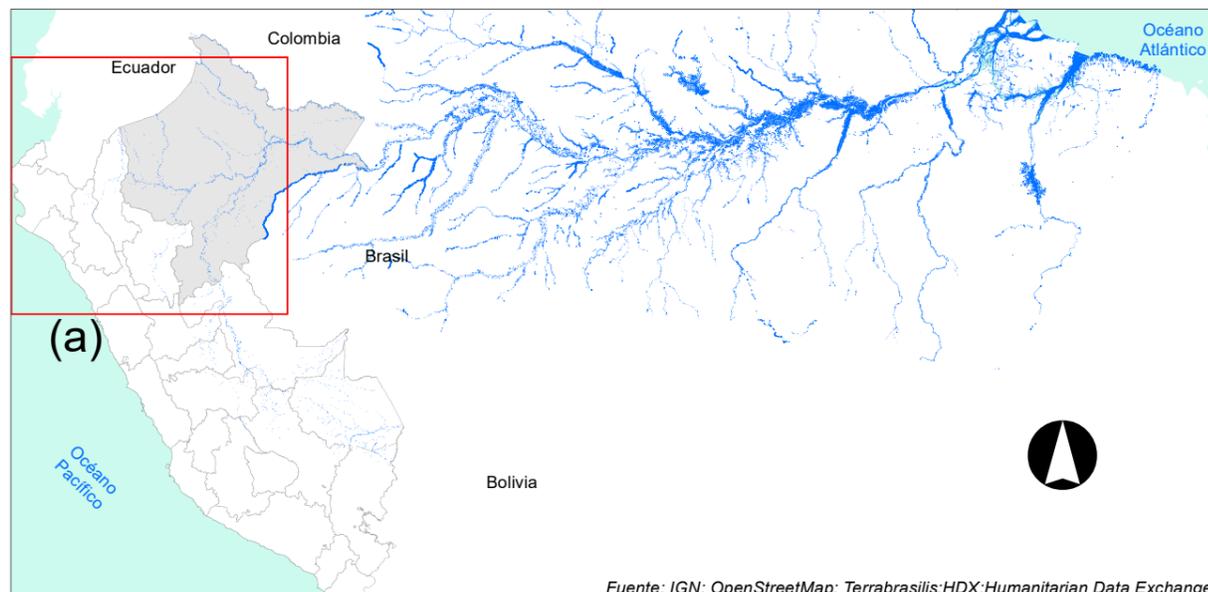
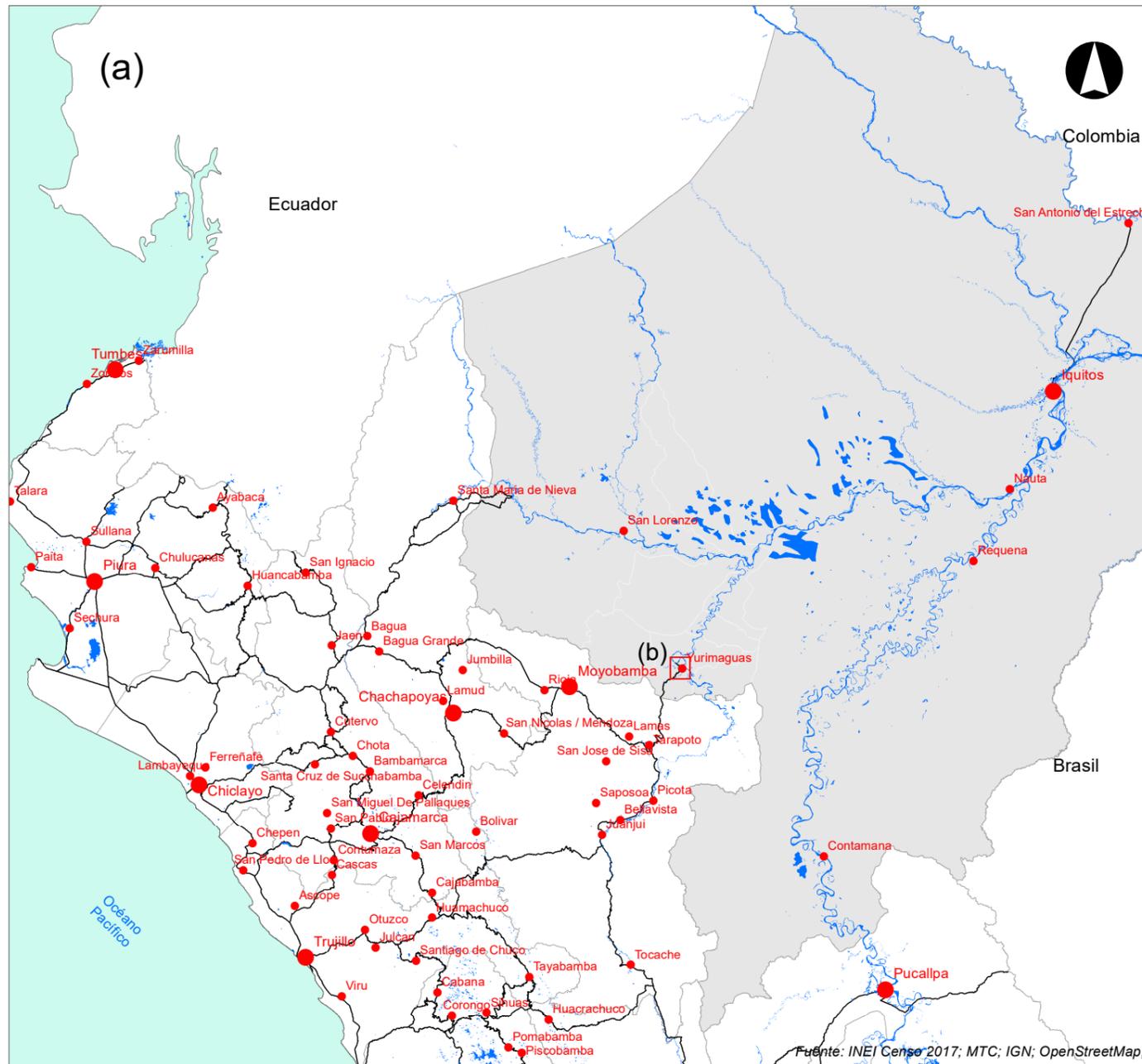
Finalmente, con base en los valores de las métricas mencionadas previamente se describieron los cambios en los patrones de crecimiento urbano de Yurimaguas durante el desarrollo del punto intermodal del corredor IIRSA-Eje Amazonas. En términos de la variación de cantidad suelo urbano y del grado de crecimiento urbano disperso en el tiempo para finalmente probar la hipótesis de la investigación.

3.3. Caso de estudio: ciudad de Yurimaguas

La fundación oficial de la ciudad Yurimaguas (en su lugar actual) -al pie del cruce de los ríos Huallaga y Parapapura, en la provincia de Alto Amazonas, del departamento de Loreto (Ver lámina 1)- se remite al 08 de diciembre de 1709 (Alvarez, 2015). Si bien la fundación se remonta a los inicios del siglo XVIII, y algunos cambios se hacen notorios; no fue sino hasta finales del siglo XIX e inicios del siglo XX⁷ cuando se vendrían los cambios más significativos para Yurimaguas, con el ciclo productivo del caucho natural.

Antes de ingresar a analizar los periodos de cambio de Yurimaguas es necesario destacar la función de integración que tuvo la provincia de Alto Amazonas ya en el periodo colonial (1532-1821). Sus ciudades (Jeberos, Balsapuerto y Yurimaguas) hacían posible la conexión entre los centros de control de la alta Amazonía (región actual de San Martín) y la baja Amazonía (región actual de Loreto). Conectaban a Moyobamba con ciudades fluviales amazónicas, como era Iquitos en la antigua provincia de Maynas. En los inicios del siglo XIX Yurimaguas mostraba ya su rol de nodo central en los viajes en la Amazonía, En ese tiempo, aunque era un pequeño caserío, siempre estaba activo para preparar las embarcaciones en su salida al Amazonas, Ucayali y Brasil, y al mismo tiempo recibir mercadería para cubrir la demanda de Moyobamba, Tarapoto, Lamas; Huallaga Central y Mayo. Así, Yurimaguas fue creciendo como un centro comercial (Rumrill et al., 1986; Silva, 1980).

⁷ El siglo XVIII estuvo destinado a los procesos de las misiones evangelizadoras en la Amazonía, y el siglo XIX está caracterizado para la Historia del Perú por las guerras internas y externas que se dieron para mantener la extensión de su territorio a inicios de la independencia del reino de España.



Leyenda

- Red vial nacional
- Red vial departamental
- Rios Navegables
- Capital regional
- Capital provincial
- Departamentos del Perú
- Área urbana de Yurimaguas
- ▲ Puertos Fluviales
- Departamento de Loreto
- Distritos de Alto Amazonas

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		
Tesis de grado: "Modelo de crecimiento urbano por implantación de infraestructura de gran escala en la Amazonía peruana. El caso de Yurimaguas"		
Título: LAMINA 1. UBICACIÓN DE LA CIUDAD DE YURIMAGUAS		
Proyección:	WGS84 UTM 18S	Escala: Varias
Elaboración:	Arturo Rogger Turpo Barrios	Fuente: GEOIDEP, INEI, OSM
		L-01

3.4. Ciclos de cambio en Yurimaguas (1880 - actualidad)

En este acápite se pretende identificar procesos de cambio en la historia de la Amazonía peruana y su manifestación en el crecimiento urbano, correspondiente al primer objetivo de esta investigación. Es decir, definir periodos de inversión o ciclos económicos-productivos en la Amazonía peruana, particularmente en Yurimaguas; y describir cómo, en estos periodos, los proyectos o ciclos de inversión produjeron procesos de cambio de cobertura de suelo en los alrededores de la ciudad de Yurimaguas, capital de la provincia de Alto Amazonas.

Para iniciar el análisis, se definirá los periodos históricos de cambio más relevantes de la ciudad de Yurimaguas. En el caso de la Amazonía peruana estos periodos se remiten a ciclos cortos y fugaces de esplendor (auge y caída).

Roger Rumrill, Carlos Dávila y Fernando Barcía (1986) realizaron un trabajo historiográfico de la provincia de Alto Amazonas y su capital Yurimaguas, en el marco de los procesos regionales de la Amazonía peruana. Sobre la base de dicho estudio y otros (San Roman, 1994; Fernandez, 2015), se han identificado 4 periodos de inversión o ciclos económico-productivos para Yurimaguas en particular, y la Amazonía en general: [1] el caucho (1885-1920); [2] el barbasco (1942-1955); [3] el petróleo (1970-1990); [4] IIRSA (2000-actualidad) (ver Tabla 12). Estos cuatro periodos de auge representan circulación de capitales y producción.

Tabla 12. Periodos históricos de inversión o ciclos económicos-productivos en la Amazonía peruana.

Periodo	Nombre	Descripción
1880-1920	Ciclo del caucho	Fenómeno económico internacional: extracción y exportación del Perú propició la penetración de grandes grupos de caucheros a la selva. El establecimiento de consorcios de negocios del caucho en Iquitos, principalmente de Inglaterra y Estados Unidos, bajo la explotación de mano de obra indígena trajo consigo el ingreso de botes a motor y una ola migratoria. El establecimiento del puerto de Iquitos fue importante para la consolidación de la ciudad de Ciudad de Iquitos, como centro exportador y capital de Loreto a fines del siglo XIX.

(continua)

(continuación)

1942-1960	Ciclo del barbasco. & Integración de la Selva a la vida nacional	La planta de barbasco, <i>Lonchocarpus nicou</i> , fue un recurso muy solicitado para la exportación en medio de la Segunda Guerra Mundial. El mejor barbasco provenía de la provincia de Alto Amazonas. En 1943 se terminó la construcción de la carretera de penetración a la selva Lima-Pucallpa. Pucallpa se convierte en un polo comercial. Industrialización de la madera en Iquitos y Pucallpa.
1970-1990	Ciclo del petróleo & Carretera Marginal y mejora de los puertos fluviales	Comercio de petróleo entre Iquitos y Pucallpa. Se da la mejora de los puertos fluviales en ciudades Amazónicas por ENAPU. La carretera marginal de la selva (hoy PE-5N) se culminó; ampliando así, la frontera agrícola en la selva alta.
2000-Actualidad	Ciclo de IIRSA	Inversión en infraestructura de alcance continental. Estos corredores económicos son fruto de acuerdo entre los países de Sudamérica.

Fuente: San Román, 1994; Fernandez, 2015; Gastelo, 2018

A continuación, se presenta una breve descripción de lo que representaron los ciclos de auge para la Amazonia peruana en general y la provincia de Alto Amazonas y su capital Yurimaguas en particular.

3.4.1. Ciclo del caucho (1880-1920)

El contexto que encuentra el surgimiento del caucho son los fracasos de la ocupación de la selva con fines agropecuarios. Se intentó tener una producción de alimentos en la selva para luego comercializarla a las otras regiones, pero el poco conocimiento del lugar ligado a una baja productividad permanente de los suelos, a los dos años, sumado a la dificultad de transportar las cosechas, y las enfermedades que se producían en el trabajo; los llevaban a dimitir de tarea (Silva, 1980).

Por influencia del mercado internacional a mediados del siglo XIX, Charles GoodYear idea la llanta neumática y el caucho natural (uno de los insumos) se llega a valorar a finales de este siglo, llegando a capturar grandes inversiones de Inglaterra y EEUU mediante las casas comerciales. Este producto abundaba en la Amazonía peruana y se pensaba que no necesitaba mayor esfuerzo que el de extraer y vender, a diferencias de los intentos de producción agrícola anteriores.

Así, el caucho inaugura las actividades extractivo-mercantilistas en la Amazonía peruana para atender a un mercado externo (Silva, 1980).

La explotación de este producto tuvo un incremento súbito lo que llevó a la migración de personas a la Amazonía; ya sea como una fiebre en busca de la riqueza por parte de los caucheros o más bien por sometimiento, pues la actividad al requerir de trabajadores utilizó población indígena (conocedores de la selva) en condiciones de esclavitud y población colona por medio de habilitaciones y contratos injustos (Silva, 1980). Estos buscadores pasaban por Yurimaguas.

Iquitos fue la ciudad más importante del ciclo de caucho en el Perú. “El movimiento económico y comercial que produjo el caucho impulsó el establecimiento de ciudades; por ejemplo, Manaus en Brasil e Iquitos en Perú. El surgimiento y desarrollo de estas ciudades estuvo orientado a que cumplieran un rol de centros intermedios de abastecimiento de bienes (generalmente suntuarios, para consumo exclusivo de los caucheros, comerciantes y autoridades) y de exportación del caucho; así como centros de diversión y de dispendio de los mismos grupos antes señalados” (Silva, 1980).

En 1890 la capital administrativa de Alto Amazonas se traslada de Balsapuerto a Yurimaguas por ser este un punto natural de conexión fluvial entre las ciudades en territorio de San Martín como Moyobamba y Tarapoto y aquellas de Loreto como Iquitos, Nauta y Requena⁸ (ver Lámina N° 1). Lo que consolida a Yurimaguas como centro de conexión. El puerto de Yurimaguas formó parte del transporte fluvial de la ruta del caucho hacia Iquitos. Por ello, en este periodo se da una ola migratoria hacia Yurimaguas (Limachi y Grandez, 2013). Por Yurimaguas pasaban en dirección al Putumayo, Yavarí, entre otros, es decir, a los lugares donde se daba la principal explotación del jebe (Rumrill et al., 1986).

El mayor cambio que se produjo en Yurimaguas en la época del caucho fue la conversión en una capital cauchera, debido a su ubicación y su puerto de conexión fluvial. Yurimaguas, ya no era un caserío, era ya una ciudad en ese entonces,

⁸ En esta descripción se usan los actuales departamentos del Perú, para una mejor comprensión. Sin embargo, se precisa que en aquellos años no existía ni San Martín ni Loreto con la extensión actual. Todo era un solo departamento Loreto.

algunas construcciones lujosas con azulejos importados propios de la época y un puerto activo con embarcaciones a vapor en constante movimiento de carga y personas son un recuerdo de dicho periodo. Algunas familias de Yurimaguas llevaban a sus hijos a estudiar al Brasil en estos vapores (Rumrill et al., 1986, pp. 157-160).



Figura N° 12. Vista parcial de la zona oriental de Yurimaguas, tomada desde lejana altura.

Fuente: Foto tomada por Flores, Yurimaguas en 1932 (Jauregui, 1946).

El ciclo del caucho terminó cuando las producciones de caucho de las colonias inglesas en el Asia superaron con creces la producción de la Amazonía peruana y brasileña juntos. En muchos casos con semillas de la Amazonía peruana llevadas por contrabando (Silva, 1980). Sumado a los cauchos sintéticos puestos en el mercado, ocasionaron un exceso de oferta. Este exceso en la producción trajo consigo una caída del precio del caucho sudamericano. Posterior a esto, la producción del caucho sintético marco el fin de este ciclo. Los caucheros que vieron el cese de su trabajo más productivo, lejos de pensar en volver a sus tierras natales decidieron quedarse en las ciudades amazónicas y vivir de la explotación agrícola. Así, ciudades como Yurimaguas, Iquitos y otras en la cuenca de los ríos Huallaga, Marañón y Ucayali comienzan a albergar nueva población en forma permanente (Rumrill et al., 1986).

Al declive del caucho, en la década de 1920 le siguió la producción y exportación de algunos productos agrícolas como el café y algodón y otros de extracción como

la tagua, balta, caoba y cedro. Algunos que provenían de San Martín y se iban a Iquitos pasaban por Yurimaguas, “Yurimaguas contaba con almacenes para recibir la carga de San Martín, también oficinas, agencias y sucursales de las firmas mayoristas de Iquitos”. La dedicación a la actividad agropecuaria luego de la caída del caucho, prepara el contexto para el segundo ciclo: el ciclo del barbasco (Rumrill et al., 1986).

3.4.2. Ciclo del barbasco (1943-1960)

Barbasco o cubé es un término muy usado por pueblos originarios de la Amazonía para designar a una planta que utilizan para paralizar a los peces en los cuerpos de agua y hacer la pesca más sencilla; es entonces, una especie de planta venenosa para los peces; pero que no es tóxica para las personas e inclusive tiene usos medicinales. También se reportan usos del barbasco como insecticida y control de plagas (Comisión Nacional contra la Biopiratería, 2015).

En 1940 la planta de barbasco -otra vez de manera súbita- fue un recurso muy solicitado para la exportación en medio de la Segunda Guerra Mundial. Y por ello muchas personas iniciaron la extracción. Así se extraía esta planta del género *Lonchocarpus nicou* en la provincia de Alto Amazonas y en San Martín. “El mejor barbasco provenía de Jeberos con 10% de rotenona⁹; Lagunas y Santa Cruz con 7%”. La ciudad de Yurimaguas estuvo influenciada en este periodo barbasquero pues por los ríos que la rodean (Paranapura y Shanusi) transportaban las plantas extraídas y las enviaban a Iquitos. Este periodo también coincidió con la construcción del primer aeropuerto de Yurimaguas (Rumrill et al., 1986, pp. 148-165).

La forma de la ciudad iba cambiando. “Yurimaguas había heredado las estructuras de producción, comercio y transporte establecidas durante los años del auge cauchero, a su vez se había urbanizado” (Rumrill et al., 1986). A mediados del siglo XX las autoridades de Yurimaguas gestionaron inversiones para la pavimentación de calles, agua potable y electrificación. Además de infraestructura de salud y educativa (Limachi y Grandez, 2013).

⁹ Compuesto insecticida presente en las plantas del género *Lonchocarpus*.

Al igual que en el caucho, el declive del barbasco lo marco la caída precios y de un momento a otro el lujo y derroche de los barbasqueros desapareció (Rumrill et al., 1986). La producción de un producto alternativo, esta vez fueron los insecticidas sintéticos Aldrin y DDT.

El ciclo de barbasco fue el segundo periodo corto en representar riqueza y derroche, al mismo tiempo este periodo coincidió con inversiones del Estado en infraestructura en la Amazonía: el aeropuerto de Yurimaguas, y provisión de servicios para esta; así como, la carretera Lima-Pucallpa cambiaron la imagen de las ciudades amazónicas. A esto se le conoce como la integración de la selva a la vida nacional (San Roman, 1994). También, en 1963-1964 se dio reinicio a la carretera Tarapoto-Yurimaguas, y los pobladores participaron en ella.

3.4.3. Ciclo del petróleo (1970-1990)

El ciclo del petróleo de la década de 1970 está marcado por hechos importantes como: la construcción del Oleoducto Norperuano, la carretera marginal de la selva a Alto Amazonas¹⁰ además de la mejora de los puertos, hicieron varios cambios para Yurimaguas.

El 09 de octubre de 1969 el gobierno de Velazco Alvarado mandó nacionalizar la explotación petrolera por considerarlo un recurso estratégico. Se creó la empresa estatal PETROPERÚ para la exploración y explotación petrolera como necesidad nacional. Entonces, PETROPERÚ abrió oficinas en Iquitos con las “Operaciones de Oriente” e inició las exploraciones en la cuenca del río Tigre en la provincia de Loreto. En 1971 las exploraciones dieron frutos, el pozo Corrientes x-1 (el río Corrientes es afluente del río Tigre) producía 3,000 barriles diarios. La empresa Occidental Petroleum Company (OXY) hizo lo propio en el pozo Capahuari 41-X-1 en la cuenca del río de Pastaza, provincia de Alto Amazonas. Estas provincias: Loreto y Alto Amazonas fueron las primeras provincias petroleras del departamento de Loreto (Rumrill et al., 1986).

La explotación del petróleo hallado en la región de Loreto resultaría finalmente ser canalizado a través del Oleoducto Norperuano y llevado a Bayovar, Piura. La

¹⁰ En ese tiempo la provincia de Alto Amazonas incluía la actual provincia Datem del Marañón.

construcción del Oleoducto Norperuano (1972-1977) fue un hecho sin precedente por el nivel de inversión y el grado tecnológico que implicaba esta actividad. Rumrill et al (1986) dan una clara descripción de las novedades en el lugar: “Enormes cargamentos de equipos fueron traídos hacia Loreto por la vía marítimo-fluvial. Aviones y helicópteros, flotas de remolcadores y chatas, motonaves y veloces deslizadores y botes en general; dragas, palas mecánicas, grúas de larga aguja, tractores de diversos tipos para remoción de árboles, excavadoras mecánicas, casas flotantes, construcciones prefabricadas, grupos generadores de energía eléctrica, campamentos con aire acondicionado, agua potable, etc. Llegaron a la selva. Igualmente se instalaron campos de aterrizaje y helipuertos, carreteras, trochas carrozables y cientos de camino de trocha”. Esto trajo consigo un incremento en los salarios a los que estaban acostumbrados en la zona los agricultores; siendo un atractivo para trabajar en el sector petrolero. Así, se dio una migración de los campos a las zonas petroleras en desmedro de la producción de alimentos para abastecer a la región, con lo que los precios de estos aumentaron (Rumrill et al., 1986, pp. 168-170).

Terminada la exploración, se dio la fase de producción. En esta se requería menos mano de obra no calificada, por lo que muchos trocheros migrantes quedaron desempleados y lejos de retornar a sus lugares de origen, se reasentaron en las principales ciudades de la Amazonía, que iban creciendo en burocracia debido a la desconcentración administrativa de Lima (Martinez, 1983).

Aparte de PETROPERÚ, el Estado peruano había promovido el ingreso de empresas extranjeras para la exploración y explotación del petróleo. “La caída de la era de petróleo se produjo en 1975, fecha en que las empresas comenzaron a retirarse. Miles de trabajadores quedaron sin empleo.”. Esto seguido con el endeudamiento en el que había quedado el Estado luego de la construcción del Oleoducto sumó en la crisis económica de aquellos años (Silva, 1980; Rumrill et al., 1986). El ciclo del petróleo fue en comparación al del caucho, de más corta duración y ocasionó menor daño a la población, con el trabajo forzado. La explotación petrolera fue puntual y no extensa en el territorio como el de las plantaciones de caucho.

Con la explotación del petróleo, la construcción del oleoducto Norperuano, el proceso de regionalización en marcha, Yurimaguas seguía manteniendo su rol de nexo y paso obligado hacia la Amazonía peruana. Así lo hizo, durante la construcción de la carretera Marginal de la selva: “la maquinaria y equipos de construcción vial para el frente de trabajo en San Martín, llegaron al puerto de Yurimaguas por vía fluvial, desde el océano atlántico y de aquí por la carretera hasta Tarapoto” (Rumrill et al., 1986; Gastelo, 2018). También, por los años 70-80s se invirtió en la mejora de los puertos fluviales de las principales ciudades Amazónicas (Iquitos, Pucallpa, y Yurimaguas) para mejorar el comercio regional e internacional. El puerto de Yurimaguas se construyó entre 1976 y 1980 en el cruce río Parapapura y Huallaga. El 20 de agosto de 1981 fue inaugurado el Puerto de Yurimaguas y entró en funcionamiento administrado por la Empresa Nacional de Puertos del Perú (ENAPU) hasta la actualidad (Valera Saavedra y Saavedra Panduro, comunicación personal, 17 de mayo, 2022). En 1985 fue inaugurado el aeropuerto “Moisés Benzaquen Rengifo” de Yurimaguas, aunque ya desde 1937 se había acondicionado una pista de aterrizaje. Este aeropuerto es administrado por la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC) y viene funcionando hasta la actualidad. Y, por último, Yurimaguas alberga una planta de ventas de Petroperú. A esta planta llegan a descargar petróleo de la Amazonía. Este es bombeado para su almacenaje y posterior transporte en camiones. Esta planta de Petroperú opera desde la década del 1970 (Rumrill et al., 1986; Gastelo, 2018)

3.4.4. Un nuevo ciclo de inversión: IIRSA (2000-presente)

El periodo del 2000 en adelante es también un ciclo de inversión en infraestructura para la Amazonía peruana; sin embargo, a diferencia de los otros ciclos, la inversión en infraestructura de la Iniciativa de Integración Suramericana (IIRSA) es contemporáneo y aún no termina. En el acápite 2.2.2 se describió con detalle las ambiciones del megaproyecto IIRSA en el Eje Amazonas, y los proyectos que concretan estas en la parte nororiental del Perú (ver Figura 5). En este apartado se complementa presentando los hechos más llamativos del abordaje de Perú hacia IIRSA. Adicionalmente, la aparición de IIRSA en Yurimaguas. Las inversiones en Yurimaguas no solo están centradas en la carretera, puerto e hidrovía que dentro del distrito se unen; también se tiene pensada otro tipo de infraestructura para este nodo de cambio modal y su entorno (ver Figura N° 13)

Inversión en infraestructura que afecta a Yurimaguas en el ciclo IIRSA (2000-adelante)



1. [2003 -2009; 2013] La **Carretera** Tarapoto –Yurimaguas, 125Km (PE-5NB) + 2013: la construcción de una carretera de **evitamiento** y un puente que pasa por el río Paranapura. → **USD 252.1 millones**.
2. [2013-2016] **Terminal Portuario** Nueva Reforma-Yurimaguas. Puerto y el Terminal Logístico, → **USD 50.3 millones**. [USD 30.5 millones ya invertidos]
3. [s.f.] **Hidrovía Amazónica** → **USD 95 millones** paralizado
4. [2023] Proyecto integral de **agua y desagüe** para la ciudad de Yurimaguas, este proyecto tendrá 3 etapas → **USD 51.3 millones**.
5. [s.f.] Proyecto de **Parque Industrial** → **USD 14.6 millones***
6. [s.f.] Mejora el **Aeropuerto** de Yurimaguas → **USD 14.6 millones***
7. [s.f.] Proyecto de **Centro Logístico** → **USD 30 millones**

*Montos estimados por el PDU 2015 a nivel de preinversión.

Sumando en total USD 507.7 millones

Figura N° 13. Infografía de inversiones en infraestructura que afectan Yurimaguas en el ciclo de IIRSA(2000-adelante).

Elaboración propia a partir de información de PDU Yurimaguas (2015), ProInversión (2023).

El inicio de las inversiones la marca la carretera Paita – Yurimaguas. Si bien es cierto, esta ruta tenía cierto avance por la apertura de la carretera marginal de selva de la década de 1960; sin embargo, las nuevas inversiones se destinaron a mejorar la superficie de rodadura. El proyecto hizo las modificaciones en el tramo de Paita a Tarapoto entre 2005 y 2011. Mientras que el tramo Tarapoto – Yurimaguas se hizo entre los años 2006 y 2009. La carretera Tarapoto – Yurimaguas representó un cambio importante para Yurimaguas. Años anteriores a la carretera, el viaje de Tarapoto a Yurimaguas, duraba varios días por una trocha con todos los problemas propios de esta: deslizamientos, accidentes, pausas de varios días en la comunicación, etc. Actualmente el viaje es de 3 horas.

Cuando se decidió invertir en un nuevo puerto internacional para Yurimaguas, se decidió hacerlo fuera de la ciudad y se puso la condición de llevar la carretera desde Yurimaguas hasta la nueva ubicación del puerto antes de iniciar las inversiones en el puerto en sí. Así en 2013, se completó este tramo. Culminada la vía, se dio inicio a la construcción del nuevo puerto de Yurimaguas. El Terminal Portuario-Nueva Reforma de Yurimaguas se construyó entre 2014 y 2016.

Posterior a ello, se hizo la concesión de la Hidrovía Amazónica. El estudio de Factibilidad de este proyecto data de 2012. La firma del contrato de concesión se

hizo en setiembre del 2017. A finales de ese año, empezaron sus gestiones ante el SENACE para conseguir la viabilidad ambiental a este proyecto. Lo cual, desistieron en 2019 luego de que su EIA-d fuera observado. Actualmente, este proyecto se encuentra paralizado, y a la espera de la caducidad del contrato por mutuo acuerdo entre el MTC y el concesionario COHIDRO (MEF, 2022).

En este contexto otras inversiones se encuentran perfiladas para Yurimaguas, como son las siguientes: un centro logístico, un nuevo aeropuerto, un parque industrial, así como un proyecto integral de agua y desagüe para la ciudad.

3.4.4.1. El centro logístico de Yurimaguas.

El centro logístico de Yurimaguas está dentro de cartera de proyectos de IIRSA como centro de transferencia en el Terminal Portuario Yurimaguas-Nuevo Reforma. Así, es parte importante del flujo comercial a garantizar por el transporte intermodal de IIRSA. Es un centro de recepción, almacenamiento y distribución de carga de comercio internacional. Se tiene previsto una inversión de USD 30'000,000 según el Plan de Desarrollo de Servicios Logísticos de Transporte (MTC y BID, 2014) por concesión al sector privado. Sin embargo, hasta el momento no cuenta con estudios de preinversión y se espera contar con la normatividad para el funcionamiento de estos centros logísticos (COSIPLAN, 2017b). Pese a ello su ubicación se tiene proyectada en el PDU Yurimaguas 2015-2025 al costado del Terminal Portuario Yurimaguas-Nuevo Reforma. Se tiene pensado que sea un *truck center* en su primera fase y de acuerdo a la demanda se convierta en una Plataforma Logística Multimodal.

3.4.4.2. El nuevo aeropuerto de Yurimaguas

La ciudad de Yurimaguas cuenta actualmente con un aeropuerto: el aeropuerto Moisés Benzaquén Rengifo administrado por CORPAC. Este proyecto fue inaugurado en 1985 posterior al ciclo del petróleo. Lo que se pretende ahora es construir uno nuevo en una ubicación diferente pues el actual se encuentra embebido en la ciudad. El PDU de Yurimaguas 2015-2025 (MVCS y MPAA, 2015) proyecta al nuevo aeropuerto junto al nuevo Terminal Portuario Yurimaguas-Nuevo Reforma con una inversión de 50 millones de soles o USD 14.6 millones de dólares.

3.4.4.3. El parque industrial de Yurimaguas

El parque industrial de Yurimaguas no forma parte de la cartera de proyectos de IIRSA, pero el Estado peruano está interesado en aprovechar el nodo intermodal. El Plan de Desarrollo de Yurimaguas 2015-2025 (MVCS y MPAA, 2015) lo ubica junto al nuevo puerto, y el centro logístico; con una inversión de 50 millones de soles o USD 14.6 millones de dólares.

3.4.4.4. El proyecto integral de agua y desagüe para la ciudad de Yurimaguas.

Luego de casi dos décadas de espera, se está gestionando un proyecto integral de agua y desagüe para la ciudad de Yurimaguas. Este proyecto tendrá 3 etapas: 1) El sistema de agua y la instalación de reservorios, la segunda etapa es 2) la construcción de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), y la tercera sería 3) la construcción del sistema de desagüe. Este proyecto se encuentra estimado, al cierre de esta investigación, en aproximadamente S/ 193 millones o USD 51.3 millones (MVCS, 2023). Monto que irá actualizándose en el tiempo con la variación precios unitarios en el mercado. La primera etapa ha iniciado con la transferencia de S/. 3,926,083.00 del MVCS a la entidad prestadora de servicios de saneamiento de Yurimaguas, mediante la resolución ministerial N° 514-2023-VIVIENDA de fecha el 23 de noviembre de 2023 (Diario El Peruano, 2023). A partir del 2021, el proyecto integral de Agua, Desagüe y Alcantarillado cuenta con expediente técnico apto; sin embargo, debido al tiempo transcurrido desde entonces dicho expediente requiere una actualización para poder dar el siguiente paso: llamar a concurso público para la ejecución del proyecto. La transferencia del MVCS serviría para dar ese paso.

3.5. Síntesis de la evolución de la ciudad de Yurimaguas a través de los ciclos económicos-productivos

A partir de lo anteriormente descrito, y utilizando el análisis de la evolución físico-espacial de la ciudad de Yurimaguas, contenido en el Plan de Desarrollo Urbano 2015 (MVCS y MPAA, 2015) se sintetizan los cambios en la ciudad de Yurimaguas para describir cómo fue dándose el crecimiento urbano en los ciclos del caucho, barbasco, petróleo e IIRSA.

En el ciclo del caucho (1880-1920), Yurimaguas se convierte de un caserío a una ciudad con construcciones europeas, una capital cauchera. Estos cambios se ubican ahora el centro de la ciudad (ver color rojo en Figura N° 14). También en este periodo se consolida de modo administrativo, ya que la capital de la provincia de Alto Amazonas se traslada a Yurimaguas, y con ello la construcción del palacio municipal. Posterior al ciclo del caucho, se haría el acondicionamiento de una pista de aterrizaje en 1937; que posteriormente, en el ciclo del petróleo, se convertiría en el aeropuerto “Moisés Benzaquen Rengifo”.

En el ciclo del barbasco (1943-1960), Yurimaguas sufriría una nueva expansión de la ciudad (ver Avance 1 en Figura N° 14). La provincia de Alto Amazonas tenía dentro sus recursos la mejor calidad de barbasco de ese entonces. Y este producto salía hacia Iquitos y luego a la exportación por los ríos que rodean a la ciudad de Yurimaguas, el río Paranapura y el río Shanusi. En este ciclo las autoridades gestionan la infraestructura para servicios básicos, así como para el sector educación y salud. La década de 1960 es la llegada de la carretera marginal de la selva. En cuya construcción participó la población de Yurimaguas.



Figura N° 14. Fases evolutivas de la ciudad e Yurimaguas y su relación con los ciclos de auge de la Amazonía peruana.

Fuente: (MVCS y MPAA, 2015)

En el ciclo del petróleo (1970-1990), Alto Amazonas fue una de las primeras provincias petroleras de Loreto. PETROPERÚ tiene una planta de ventas en Yurimaguas de data de este periodo. El nivel de inversión para el Oleoducto Norperuano ocasionó una gran migración de los campos a los lugares de explotación pasando por las ciudades-puerto, entre ellas Yurimaguas (ver Avance 2 en Figura N° 14). Al terminar el ciclo los trabajadores desempleados fueron a establecerse en estas ciudades puerto, que ya contaban, por la descentralización administrativa, con más burocracia. En este periodo la nueva expansión de Yurimaguas llegaría a la Atum quebrada como límite natural. Coincidiendo este periodo con la inauguración y operación de infraestructura a cargo de las empresas nacionales que mejoraría la comunicación para Yurimaguas: el puerto por ENAPU (1981), y el aeropuerto por CORPAC (1985).

Posterior al ciclo del petróleo, a inicios de la década del noventa, se da un periodo de violencia originado por grupos armados, por lo que muchas personas terminarían huyendo, y la población de Yurimaguas decrecería. Sin embargo, a partir de 1993 el agro nuevamente sustentaría las actividades en la ciudad y a partir de entonces un contexto de crecimiento esperaría a su siguiente ciclo: el ciclo de IIRSA, cuando la ciudad haría una nueva expansión (Ver Avance 3 en Figura N° 14)

Para la ciudad de Yurimaguas esas épocas de auge y caída representaban: migración de personas, mayor comercio, y aumento de construcciones. Los cambios en la estructura económica que antes del caucho era para autoconsumo, tuvieron luego sectores silvoagropecuarios, comercio, transporte y otros servicios.

La forma del crecimiento urbano a partir del análisis hecho en el 2015 por el MVCS revela un patrón de crecimiento periférico (expansión), es decir, la frontera de la ciudad viene creciendo en forma anillos según iba requiriendo más espacio en cada ciclo extractivo-mercantil del barbasco y petróleo (Ver Figura N° 14). Este patrón corresponde a la cercanía al puerto natural en río Huallaga como núcleo y las fronteras naturales que representan los ríos Paranapura y Shanusi a los costados, estos tres ríos encajonan a la ciudad y orientan el crecimiento para la zona oeste como única posibilidad, hacia donde el aeropuerto orienta también. Sin embargo, a partir del año 2000, la llegada de la carretera pavimentada de IIRSA

alteró este patrón y a partir de entonces las ocupaciones son atraídas por las vías nacionales (Ver Avance 3 y en “Proceso” como uno solo en Figura N° 14). Esta investigación apunta a analizar el cambio de patrones de crecimiento durante el ciclo de IIRSA (2000 en adelante) (ver cap. 4)

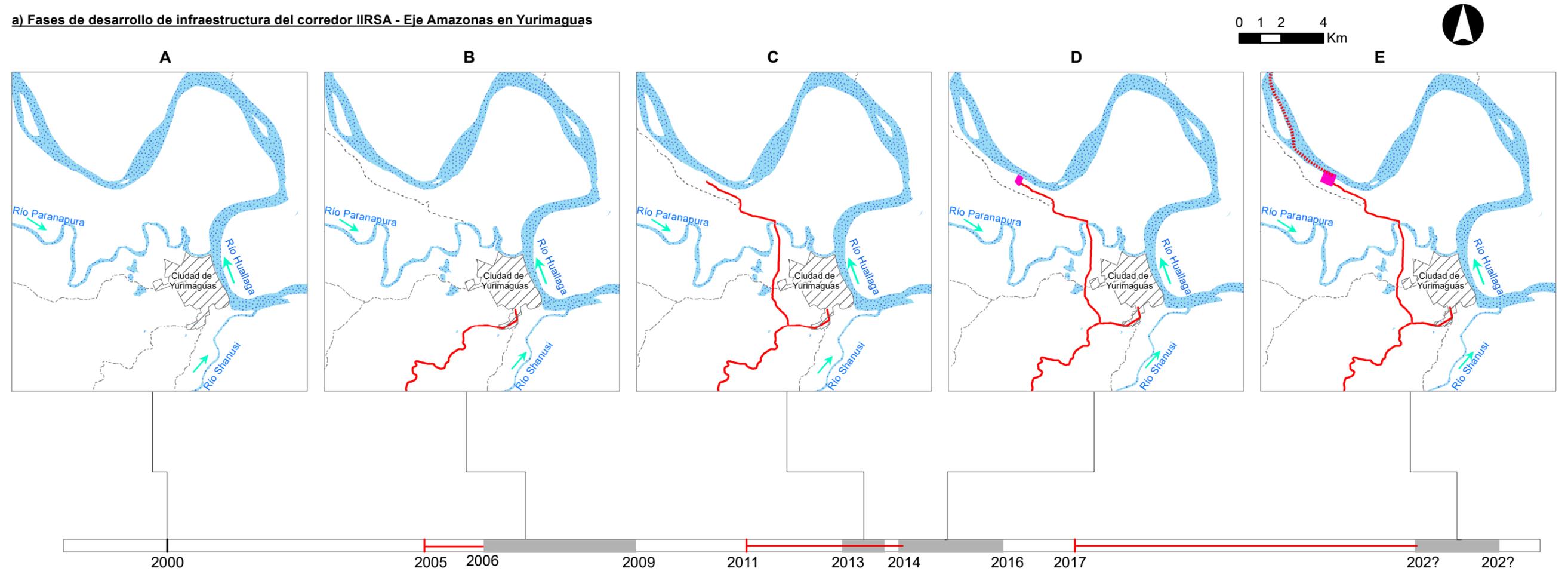
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL CASO DE ESTUDIO

El propósito de esta investigación es describir el proceso de cambio en los patrones de crecimiento urbano de Yurimaguas durante el desarrollo del corredor IIRSA- Eje Amazonas. Por lo que, en este apartado se describen los resultados obtenidos del monitoreo del crecimiento urbano a partir del procesamiento de imágenes satelitales y procesamiento SIG, específicamente los cambios detectados en periodos de 5 años y las características de algunos patrones espaciales basado en las métricas descritas en el capítulo 3. Estas métricas se usaron para: 1) cuantificar el cambio de cantidad de cobertura urbana y 2) cuantificar el grado de crecimiento urbano disperso. Asimismo, se presenta también una interpretación y análisis de los resultados. Para empezar, a modo de introducción y con base en documentos técnicos oficiales se complementa una descripción gráfica del desarrollo de infraestructura de gran escala de IIRSA-Eje Amazonas en Yurimaguas, específicamente del desarrollo del punto intermodal cercana a la ciudad de Yurimaguas (2000 en adelante).

4.1. Desarrollo de la infraestructura de IIRSA-Eje Amazonas en Yurimaguas.

En el acápite 3.4.4 se hizo una descripción detallada del desarrollo de infraestructura de IIRSA-Eje Amazonas en Yurimaguas. En la figura a) de la Lámina N° 2 se sintetiza de forma gráfica el desarrollo de infraestructura del corredor IIRSA-Eje Amazonas en Yurimaguas, categorizando esta evolución en 5 fases. Estas son: A) Con la carretera Tarapoto-Yurimaguas a nivel de afirmado; B) Construcción y mejoramiento de la carretera Tarapoto-Yurimaguas; C) Construcción de la vía de acceso al nuevo puerto, D) Construcción del nuevo Terminal Portuario Yurimaguas – Nuevo Reforma (en su primera etapa); y E) Desarrollo de la Hidrovía Amazónica y la segunda etapa del Terminal Portuario Yurimaguas-Nuevo Reforma. Las 5 fases están dentro del ciclo de IIRSA (desde el año 2000). Sin embargo, solo las 4 primeras se han materializado hasta el momento. La fase 5 podría darse en un futuro cercano.

a) Fases de desarrollo de infraestructura del corredor IIRSA - Eje Amazonas en Yurimaguas



Leyenda

- Red Vecinal
- Red vial departamental
- Corredor Vial Paita-Yurimaguas
- Hidrovía Amazónica
- Terminal Portuario Yurimaguas - Nueva Reforma
- Ríos Navegables
- ▨ Área Urbana PDU 2000
- Dirección de flujo del río

Fases

- A: Carretera Tarapoto - Yurimaguas existente a nivel de afirmado
- B: Construcción y mejoramiento de Carretera Tarapoto - Yurimaguas a nivel asfaltado
- C: Construcción de la vía de acceso al nuevo terminal portuario.
- D: Construcción de nuevo Terminal Portuario Yurimaguas - Nueva Reforma (I etapa)
- E: Desarrollo de la Hidrovía Amazónica.
Construcción de nuevo Terminal Portuario Yurimaguas - Nueva Reforma (II etapa).

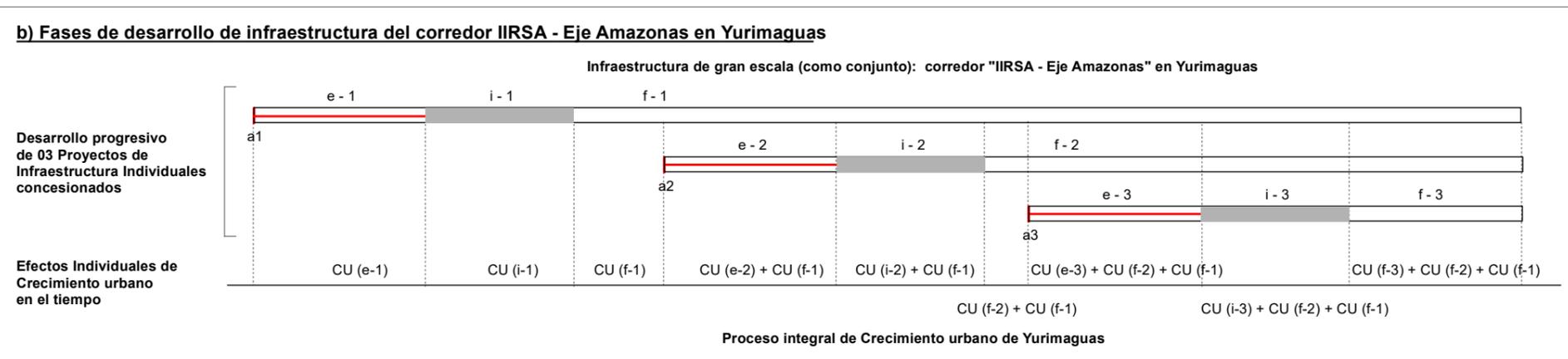
Periodos para categorizar efectos en una obra de infraestructura concesionada



- a: Fecha de firma de contrato de concesión
- e: Periodo de expectativa
- i: Periodo de implantación: construcción de obras, mejoramiento o ejecución del proy.
- f: Periodo de funcionamiento.

Fuente: MTC; PDU 2000; OpenStreetMap; OSITRAN; PROINVERSION

b) Fases de desarrollo de infraestructura del corredor IIRSA - Eje Amazonas en Yurimaguas

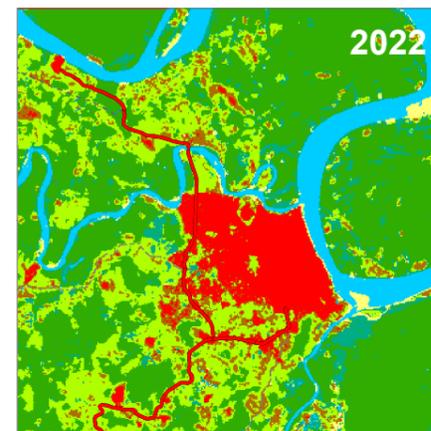
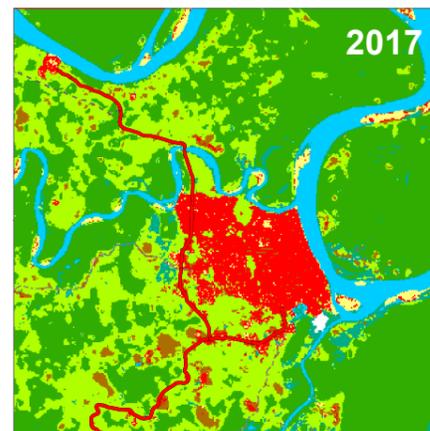
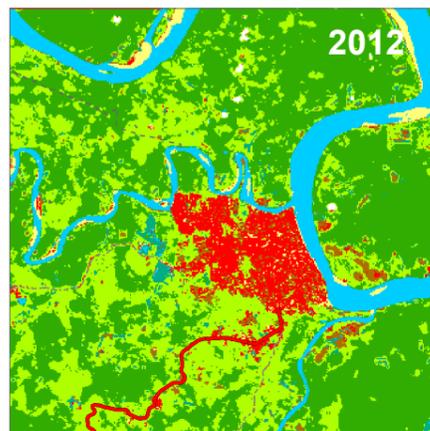
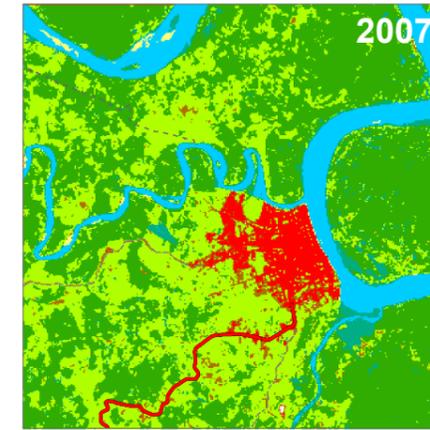
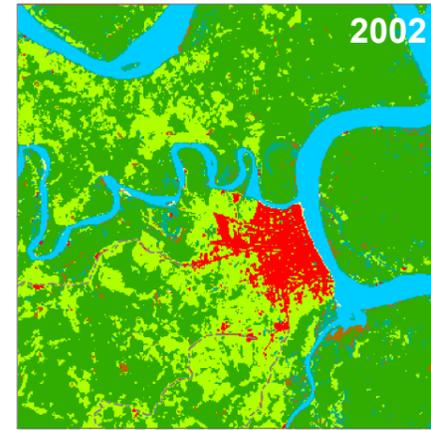
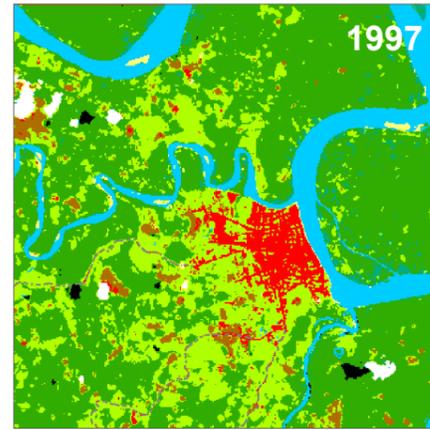
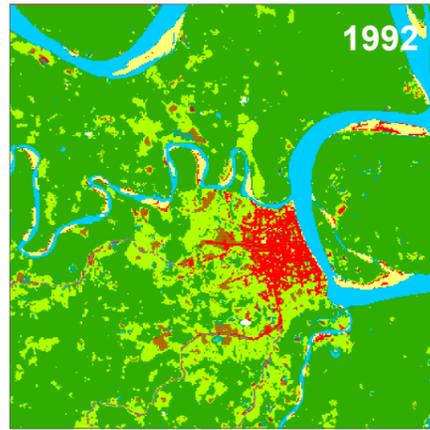


<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</p>		
Tesis de grado: "Monitoreo de crecimiento urbano durante el desarrollo de infraestructura de gran escala en la Amazonía peruana. El caso de Yurimaguas"		
Título: LAMINA 2. FASES DE DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA DEL CORREDOR IIRSA - EJE AMAZONAS EN YURIMAGUAS		
Proyección:	WGS84 UTM 18S	Escala: 1:200,000
Elaboración:	Arturo Rogger Turpo Barrios	Fuente: GEOIDEP, PDU 2000;2015
		L-02

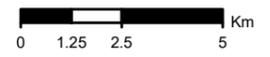
Cada una de estas fases (sobre todo a partir de la 2da) correspondientes al desarrollo de nueva infraestructura ha tenido un efecto en el crecimiento urbano de Yurimaguas. Estos efectos se podrían categorizar, en tres etapas; Siendo estas etapas, las siguientes: 1) "Expectativa": Cuando se firma el contrato de concesión de las 3 infraestructuras (la carretera, el puerto fluvial y la hidrovía) inicia un periodo de "expectativa", pues con la firma hay la seguridad de la inversión en el lugar, antes no. Con ello, los agentes inmobiliarios, así como pobladores del lugar comienzan a especular sobre el aumento de valor de los terrenos cercano al emplazamiento de la futura infraestructura, y con ello también la compra y venta de terrenos. La segunda etapa se ha denominado 2) "Ejecución" y se refiere al hecho de la puesta de la infraestructura en el lugar; etapa en la cual hay movilización de capitales para este fin. Con lo que también se genera compra y venta de terrenos. La última etapa es 3) "Funcionamiento", y se refiere a la operación de la infraestructura. La infraestructura se produce para propiciar una determinada actividad. Cada una de estas tres etapas (expectativa, implantación y funcionamiento) tiene un efecto en el crecimiento urbano de Yurimaguas. Sin embargo, la caracterización de un área de crecimiento particular por causa individual de una etapa del desarrollo de una de las infraestructuras es difícil de establecer; pues en la realidad, la manifestación física resultante se debe a la conjunción de diversas acciones, es sinérgica. Por ejemplo, si estuviésemos caracterizando el crecimiento urbano provocado por la infraestructura Carretera Tarapoto-Yurimaguas en su etapa de operación, y se da la firma de concesión de concesión del nuevo terminal portuario. Se estarían traslapando los efectos del funcionamiento de una, con la expectativa de la segunda, y estas difícilmente se podrían distinguir. (ver figura b en lámina 2)

Como se mencionó en el acápite 2.2.2.1, esta investigación optó por dejar de ver a las tres o cuatro infraestructuras como entes individuales y apreciarlas como una sola infraestructura de gran escala en construcción (el corredor multimodal). Entonces, el crecimiento urbano, efecto del desarrollo de esta infraestructura de gran escala se podría analizar a partir del registro de cambios del área urbana en diferentes años (monitoreo de crecimiento urbano).

La descripción del desarrollo de infraestructura del corredor IIRSA-Eje Amazonas mencionada anteriormente servirá para la lectura de los resultados del monitoreo de crecimiento urbano que se presenta en las siguientes líneas.



Fuente: Elaboración propia a partir de la clasificación supervisada de imágenes satelitales multispectrales de las misiones Landsat 5 y Landsat 8 con 30m de res. ; adquisición en Google Earth Engine.



Legenda

- Red vial nacional
- Red vial departamental
- Red Vecinal
- Area Urbana
- Cuerpo de Agua
- Arboles
- Pasto
- Vegetación Inundada
- Nubes
- Playas e islas fluviales
- Sombra de nubes
- Tierra desnuda

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		
Tesis de grado: "Monitoreo de crecimiento urbano durante el desarrollo de infraestructura de gran escala en la Amazonía peruana. El caso de Yurimaguas"		
Título: LAMINA 3. CLASIFICACIÓN DE COBERTURA DE SUELO DE YURIMAGUAS 1992-2022		
Proyección:	WGS84 UTM 18S	Escala:
		1:175,000
Elaboración:	Arturo Rogger Turpo Barrios	Fuente:
		Elaboración propia a partir de imágenes Landsat 5 y 8.
		L-03

4.2. Clasificación de cobertura de suelo y Reclasificación

Las imágenes satelitales adquiridas y los resultados de la clasificación supervisada de estas se muestran en la Lámina N° 3. En esta lámina se puede notar las 9 clases de cobertura de suelo en la imagen de 2007, aunque las clases nubes y sombra de nubes son escasas en las otras cuatro imágenes. También, se observa algunas manchas de la clase urbana cercana a los ríos, estas se dan ya que las firmas espectrales de las playas de área fluvial son muy parecidas a las de clase urbana. Estas se filtraron con posterioridad, al momento de extraer la clase urbana de cada año se eliminaron los errores de las playas.

También, en la Tabla 13 se muestra porcentajes área por clase con respecto al área de la unidad de reporte la cual tiene 12582 Ha. Esta área de estudio está cubierta por tres clases de cobertura principalmente: árboles, pastos, y cuerpos de agua. En la clase más abundante: Árboles, se puede notar un descenso continuo entre 1992-2022. La segunda clase más importante es Pasto. La clase Pasto crece entre 1992-2007 y luego decrece hasta 2022. La clase Cuerpos de agua, varía pues los ríos amazónicos desplazan y modifican sus cauces constantemente. Por último, hay un incremento continuo de las clases Tierra desnuda y Urbana que hacen referencia al crecimiento urbano de Yurimaguas.

Tabla 13. Porcentajes de cobertura de suelo según clase para el área de estudio de Yurimaguas.

Clase de cobertura	1992 %	1997 %	2002 %	2007 %	2012 %	2017 %	2022 %
Área Urbana	2.9	3.6	3.6	3.5	5.3	6.8	7.4
Cuerpos de agua	7.4	10.5	10.1	9.5	8.6	7.6	8.6
Árboles	68.6	57.7	58.5	50.1	50.8	51.0	48.9
Pasto	14.5	21.1	20.5	29.6	28.5	26.1	20.6
Vegetación Inundada	2.3	2.1	5.3	4.8	2.4	4.2	7.2
Nubes	0.0	0.8	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0
Playas	2.3	0.6	0.1	0.3	1.6	1.6	1.4
Sombra de nubes	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tierra desnuda	1.9	3.1	1.9	2.2	2.7	2.6	5.9

Elaboración propia

La evaluación de precisión se realizó sobre la clasificación urbano-no urbano. En la Tabla 14 se muestra los resultados del tamaño de muestra para cada clase, así como los indicadores precisión general (O), precisión de usuario para la clase urbana (U_1), y precisión de productor para la clase urbana (P_1).

Tabla 14 Resultados de la evaluación de precisión de la clasificación supervisada de Yurimaguas

		Año de los raster de clasificación urbano – no urbano						
		1992	1997	2002	2007	2012	2017	2022
Proporción de área	W₁	0.026	0.037	0.042	0.046	0.061	0.076	0.087
	W₂	0.974	0.963	0.958	0.954	0.939	0.924	0.913
Precisión esperada	U₁	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	U₂	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Desviación estándar esperada por estrato	S₁	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	S₂	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Error estándar general esperado	S(o)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Tamaño Universo	N	142800	142800	142800	142800	142800	142800	142800
Tamaño muestra	n	900	900	900	900	900	900	900
Tamaño muestra por estrato	n₁	237	242	244	246	253	260	265
	n₂	664	659	657	655	648	641	636
Precisión General	O	99.55%	99.19%	99.13%	98.73%	98.88%	98.70%	97.09%
Precisión del usuario	U₁	94.02%	94.02%	96.68%	91.36%	91.13%	100.0%	86.36%
Precisión del productor	P₁	89.29%	85.61%	84.73%	82.84%	90.49%	85.39%	81.37%

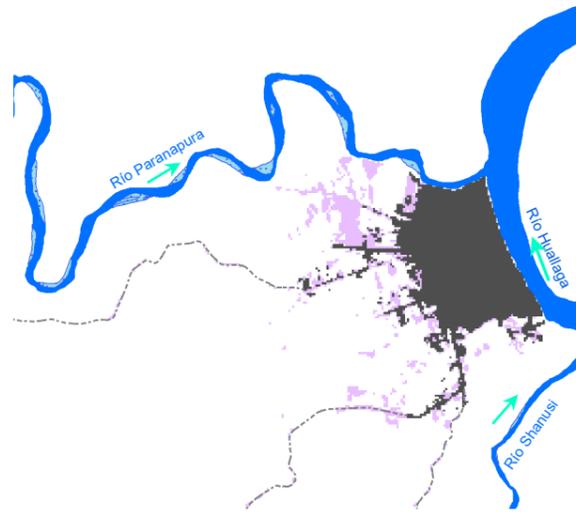
Nota: 1 es la clase urbana y 2 es la clase no urbana; n₁ y n₂ se calcularon como un promedio de igual tamaño por estrato y tamaño proporcional por estrato, mediante la expresión $n_i = (N/2 + n \cdot W_i) / 2$. $S_i = \sqrt{[U_i(1 - U_i)]}$. Las matrices de error se muestran en el Anexo 3. Elaboración propia siguiendo las recomendaciones de (Olofsson et al., 2014)

Todas las clasificaciones cuentan con una precisión general mayor o igual a 97%. U₁ es mayor a 86%, es decir, menos del 14% de proporción de área clasificada como urbana es no urbana en la referencia. Y P₁ es mayor a 82%, esto es, la proporción de área urbana de referencia no detectada en la clasificación es <18%. Lo que muestra una alta confiabilidad del proceso de clasificación urbano-no urbano teniendo en cuenta que las imágenes satelitales tienen 30m de resolución.

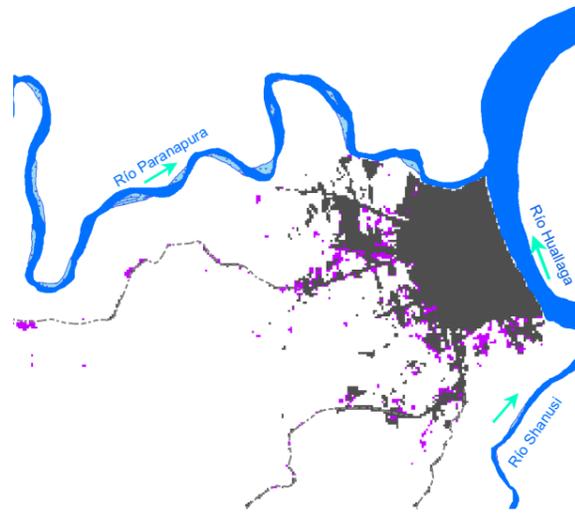
4.3. Mapa de cambio urbano

Luego, la detección de cambio de cobertura urbana se muestra en el mapa de cambio urbano (ver Lámina N° 4.g). Se puede notar una localización prioritaria de las áreas de crecimiento urbano alrededor de la mínima distancia hacia el corredor, en este caso la vía de acceso al Terminal Portuario COPAM. También se observan otras trayectorias de crecimiento urbano cada 5 años (ver cap. 4.4.4).

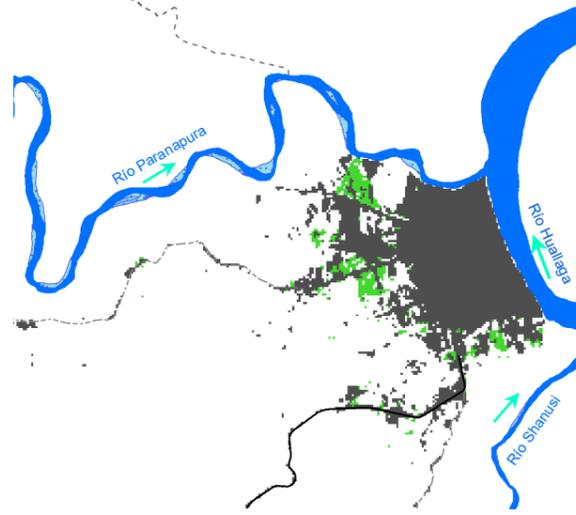
a) Crecimiento urbano 1992-1997



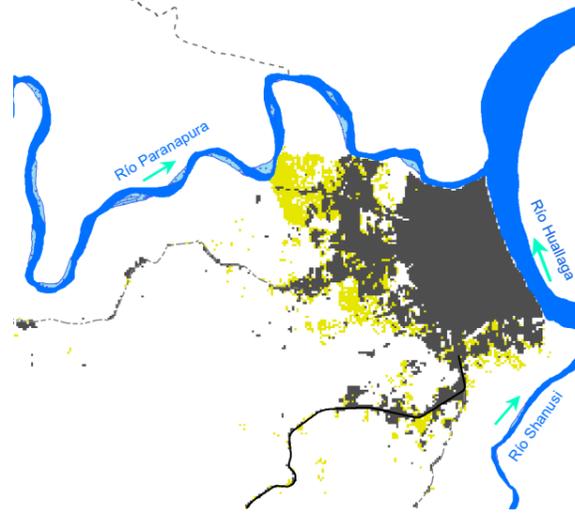
b) Crecimiento urbano 1997-2002



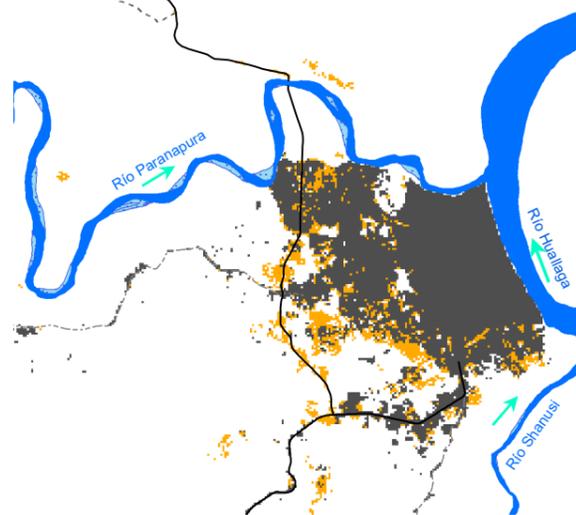
c) Crecimiento urbano 2002-2007



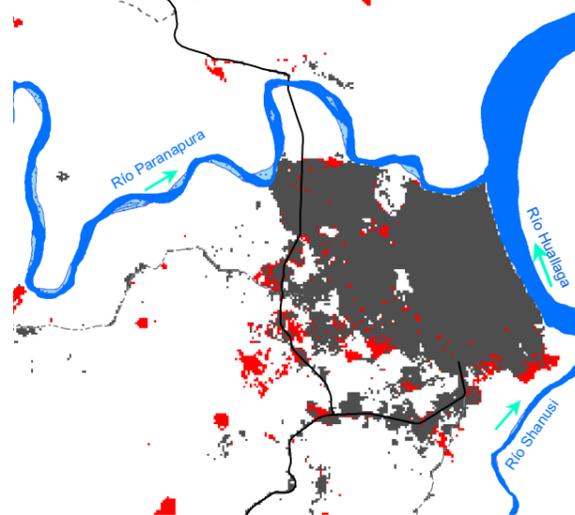
d) Crecimiento urbano 2007-2012



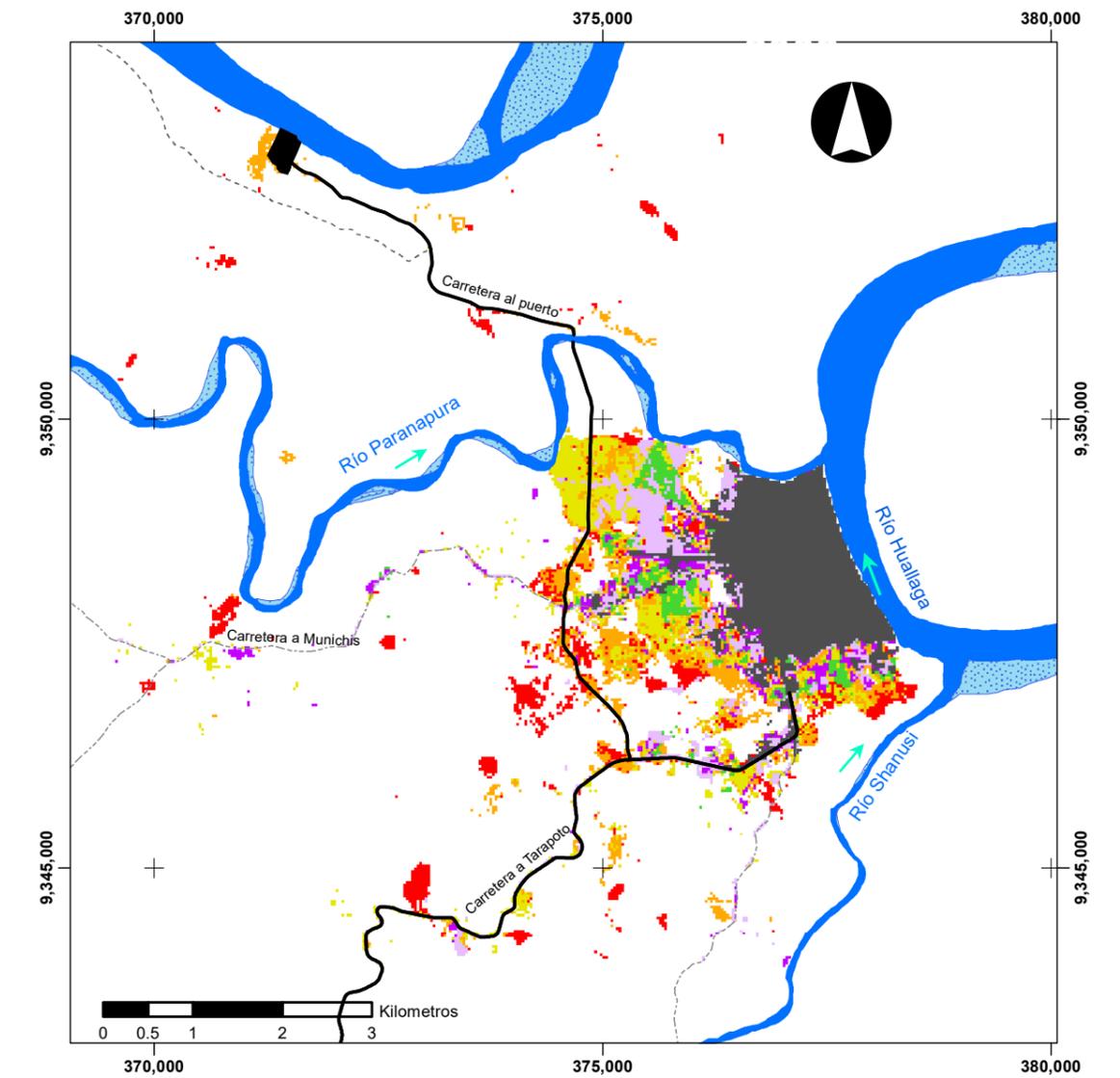
e) Crecimiento urbano 2012-2017



f) Crecimiento urbano 2017-2022



g) Crecimiento Urbano de Yurimaguas entre 1992-2022 por quinquenios

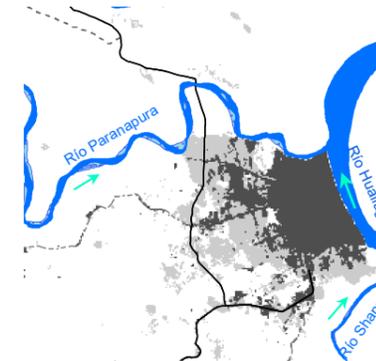


Elaboración propia a partir de la detección de cambios de imágenes satelitales multiespectrales de las misiones Landsat 5 y Landsat 8 con 30m de res. para los años 1992,1997,2002,2007,2012,2017 y 2022; adquisición de imágenes en Google Earth Engine. Escala 1:75,000

Leyenda

- Terminal Portuario*
 - Red vial nacional
 - Red vial departamental
 - Red Vecinal
 - Playas e islas fluviales
 - Ríos Navegables
 - Area Urbana Base
 - Crec. Urbano 1992-1997
 - Crec. Urbano 1997-2002
 - Crec. Urbano 2002-2007
 - Crec. Urbano 2007-2012
 - Crec. Urbano 2012-2017
 - Crec. Urbano 2017-2022
- Nota: (*) Terminal Portuario Yurimaguas - Nueva Reforma

h) Crec. Urbano 2002-2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		
Tesis de grado: "Monitoreo de crecimiento urbano durante el desarrollo de infraestructura de gran escala en la Amazonía peruana. El caso de Yurimaguas"		
Título: LAMINA 4. MONITOREO DE CRECIMIENTO URBANO DE YURIMAGUAS (1992 - 2022)		
Proyección:	WGS84 UTM 18S	Escala: 1:100,000
Elaboración:	Arturo Rogger Turpo Barrios	Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Landsat 5 y 8.
		L-04

A continuación, se describen las métricas para caracterizar el crecimiento urbano de Yurimaguas, agrupadas en dos análisis: 1) Detección de cambio de cobertura urbana y 2) Grado de crecimiento urbano disperso. Estas métricas se calcularon sobre la clase urbana luego de la reclasificación, según la Tabla 11.

4.4. Análisis I: Detección de cambios de cobertura urbana

4.4.1. Área Urbana Total

Los valores de Área Urbana Total (AUT) muestran los valores de superficie de cobertura urbana en Ha para los años de análisis 1992, 1997, 2002, 2007, 2012, 2017, y 2022 (ver Tabla 15 y Figura N° 15.a). Estos varían desde 335.3 Ha en 1992 a 1128.2 Ha en 2022. El incremento entre 1992 y 2022 es elevado. En tan solo 30 años la superficie de cobertura urbana se ha triplicado aproximadamente. Además, como se observa en la Figura N° 15.a, a partir de 2007 muestran una tendencia al alza marcada. De hecho, entre 2007 y 2022 la ciudad de Yurimaguas ha crecido en superficie 525.42 Ha (88.4% más de lo que tenía en 2007).

Tabla 15. Valores de las métricas de Área Total Urbana y Ganancia Urbana en Yurimaguas.

Año	Área Urbana Total (Ha)	Periodo	Ganancia Urbana (Ha)
1992	335.34		
1997	476.01	1992-1997	140.67
2002	538.83	1997-2002	62.82
2007	594.27	2002-2007	55.44
2012	779.58	2007-2012	185.31
2017	974.88	2012-2017	195.30
2022	1119.69	2017-2022	144.81
2027*	1286.01		
2032*	1477.04		

Nota: Los valores de Área Total Urbana entre 1992 y 2022 han sido calculados según las coberturas urbanas detectadas para esos años. (*) Los valores para los años 2027 y 2032 han sido proyectados considerando un crecimiento geométrico con una tasa de crecimiento igual a la de los años 2017-2022 (2.81%). Elaboración propia.

Además, en este estudio se ha proyectado los valores de Área Urbana Total para los años 2027 y 2032 (ver Tabla 15) considerando un crecimiento geométrico de la cobertura urbana con una tasa de crecimiento igual a la de los años 2017-2022 (2.81%). Es decir, siguiendo un escenario tendencial. De acuerdo a esta estimación, para el año 2027 la ciudad de Yurimaguas tendría 1286.01 Ha (166.32 Ha más que en 2022); y, para el año 2032 tendría 1477.04 Ha (357.35 Ha más

que en 2022). Estos valores nos dan una idea de lo rápido que se podría extender la cobertura urbana si no se toman medidas para controlarla.

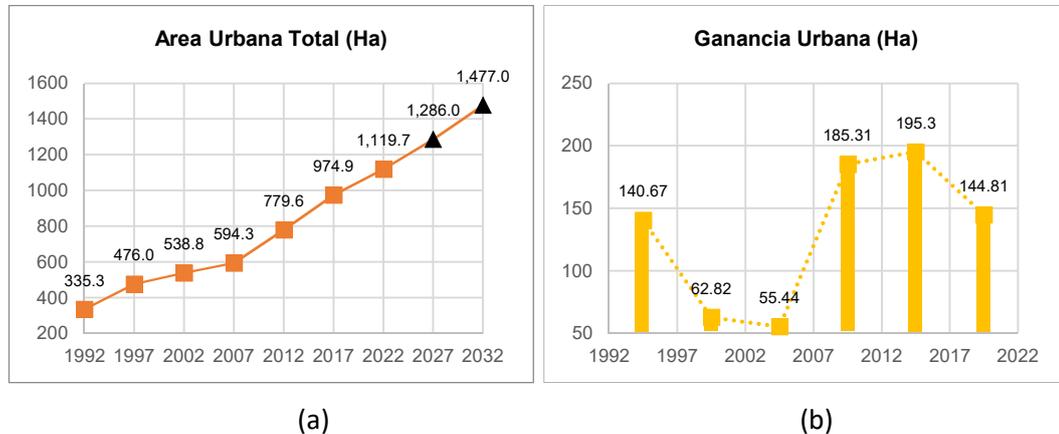


Figura N° 15. Gráficas de las métricas Área Urbana Total y Ganancia Urbana en el monitoreo de crecimiento urbano de Yurimaguas.

Elaboración propia.

4.4.2. Ganancia Urbana

De la detección de cambios de cobertura urbana (ver Lámina N° 4.a-f), se calculó las áreas de Ganancia Urbana por quinquenio. De los valores mostrados en la Tabla 15.b y Figura N° 15.b se puede notar diferencias en los incrementos por quinquenio. El crecimiento no es homogéneo a lo largo de los 30 años de análisis. El mayor crecimiento urbano en el ciclo de IIRSA se dio entre 2012-2017 (195.3 Ha). Lapso en el que se ejecutaron dos obras importantes para un mismo proyecto del nuevo puerto¹¹: [1] la construcción de la vía de acceso al puerto (el cual incluyó el puente Parapapura) y [2] la construcción del Terminal Portuario de COPAM. El segundo lapso de mayor crecimiento se dio en el quinquenio 2007-2012 (185.3 Ha), periodo en el que se ejecutó la carretera Tarapoto-Yurimaguas, como parte del corredor vial Paita-Yurimaguas. El tercer mayor crecimiento se dio entre 2017-2022 (144.8 Ha), en este periodo se tenía firmado el contrato de concesión de la Hidrovía Amazónica y se tenía expectativa de ejecución, pero esta no se llegó a ejecutar en ese periodo. Sin embargo, en el periodo 2017-2022 el corredor de gran escala ya se encontraba en funcionamiento, aunque no se haya completado totalmente. Entonces, los tres mayores incrementos en áreas han coincidido con

¹¹ La ejecución de la vía de acceso al puerto (que incluye el puente Parapapura) realizada por PROVIAS fue una condición establecida en el contrato de concesión del Terminal Portuario Yurimaguas- Nueva Reforma.

fases importantes para el desarrollo de la infraestructura de IIRSA-Eje Amazonas. Por último, los periodos 1997-2002 y 2002-2007 donde no se firmaron contratos ni ejecutaron proyectos infraestructura alguna de IIRSA tienen las menores áreas de crecimiento urbano (62.8 Ha y 55.4 Ha).

Una interpretación a estos resultados es un crecimiento acumulativo en el tiempo. Esto es, en la medida que se va desarrollando el corredor por partes de forma progresiva, las áreas de crecimiento urbano de Yurimaguas van en aumento; pero en periodos donde se ejecutan obras de los proyectos, el crecimiento urbano muestra una intensificación (2002-2007; 2012-2017). Este crecimiento acumulativo durante el desarrollo progresivo de infraestructura se puede notar en el periodo 2017-2022. Aun cuando no hay ejecución misma de algún proyecto en este periodo, presenta la tercera área de mayor crecimiento. Después de las obras ejecutadas en periodos previos, el corredor ya está en funcionamiento. Por otra parte, el periodo 1992-1997, presenta la cuarta mayor área de crecimiento (140.7 Ha), sin embargo, se piensa que este crecimiento está más bien relacionado a un ciclo anterior muy próximo: el ciclo del petróleo (1970-1990) ya que los efectos de este periodo no se limitan de forma rígida en el tiempo. La figura de la métrica de Ganancia Urbana es en sí misma un ciclo de auge y caída marcado.

Después de detectar los cambios por quinquenios, se hizo también la detección de cambios dentro del ciclo de IIRSA, entre 2002 y 2022, el área de Ganancia Urbana calculada entre esos años es de 580.9 Ha. Para el 2002 se tenía estimada un Área Total Urbana de 538.8 Ha. Obteniéndose un incremento de 107.8%, es decir, el área urbana se ha duplicado en solo 20 años desde que comenzó el ciclo de IIRSA. Esto se puede apreciar espacialmente en la Lámina N° 4.

4.4.3. Patrones de crecimiento urbano

La cuantificación del cambio de cobertura de suelo urbano mediante la cantidad de superficie por quinquenio no es la única aplicación de la detección de cambio. Analizar el incremento por quinquenio de forma espacial permite visualizar el tipo de patrón del cambio. En la Lámina N° 4(a-f) se presentaron figuras de los crecimientos urbanos en cada quinquenio por separado. Utilizando los tipos de patrones crecimiento urbano de Wilson et al (2003) (Ver acápite 2.2.3.1) se podría hacer descripciones de las diferencias relativas al tipo de patrón.

Por ejemplo, en el crecimiento urbano de Yurimaguas entre 1992-1997 (ver Figura N° 16.a), se presentan los patrones de crecimiento periférico, esto es: un patrón de rama lineal a lo largo de la carretera Yurimaguas-Tarapoto al sur de la ciudad; luego un patrón aislado en la parte media y al oeste de la ciudad de Yurimaguas, y un patrón de expansión importante en el noroeste de la ciudad, adyacente al aeropuerto de Yurimaguas.

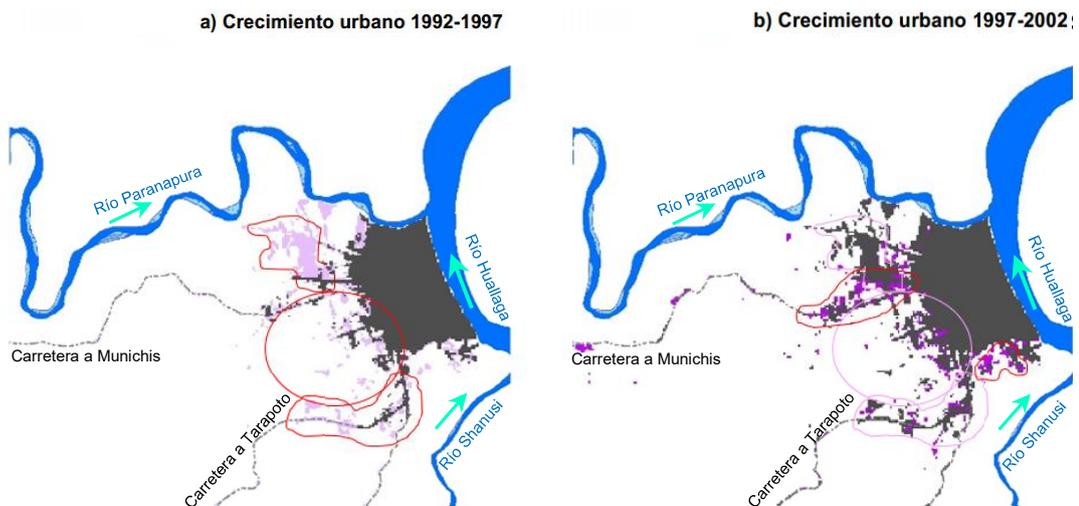


Figura N° 16. Visualización de tipos de patrones de crecimiento urbano en Yurimaguas en los periodos 1992-1997 (a) y 1997-2002 (b)

Nota: Los patrones resaltados en el periodo analizado están en color rojo, mientras que los patrones en el periodo inmediato anterior aparecen en líneas rosadas para cada figura.

Elaboración propia.

En el crecimiento urbano de Yurimaguas entre 1997-2002 (ver Figura N° 16.b), se presentan los patrones de expansión, relleno y aislado. El patrón de expansión es el de menor intensidad que en todos los quinquenios analizados y se presenta en toda la periferia de la ciudad de Yurimaguas; una expansión importante se produce en la parte sureste de la ciudad. El patrón de relleno se ubica a los alrededores del aeropuerto de Yurimaguas, al sur de la zona de expansión del quinquenio pasado 1992-2002. El patrón aislado deja su antigua ubicación en la zona media y ahora se encuentra también en zonas cercanas a la carretera a Munichis.

En el crecimiento urbano de Yurimaguas entre 2002-2007 (Ver Figura N° 17.c), se presenta un patrón de expansión. Las ocupaciones más importantes suceden al noroeste de la ciudad de Yurimaguas: [1] al norte de una zona de expansión

producida entre 1992-1997, esta vez hasta llegar al río Paranapura como límite superior y [2] en la parte media de la periferia de la ciudad, al sur del aeropuerto de Yurimaguas y adyacente a la carretera a Munichis. En menor medida se da un crecimiento de patrón de rama lineal a lo largo de la carretera Yurimaguas-Tarapoto.

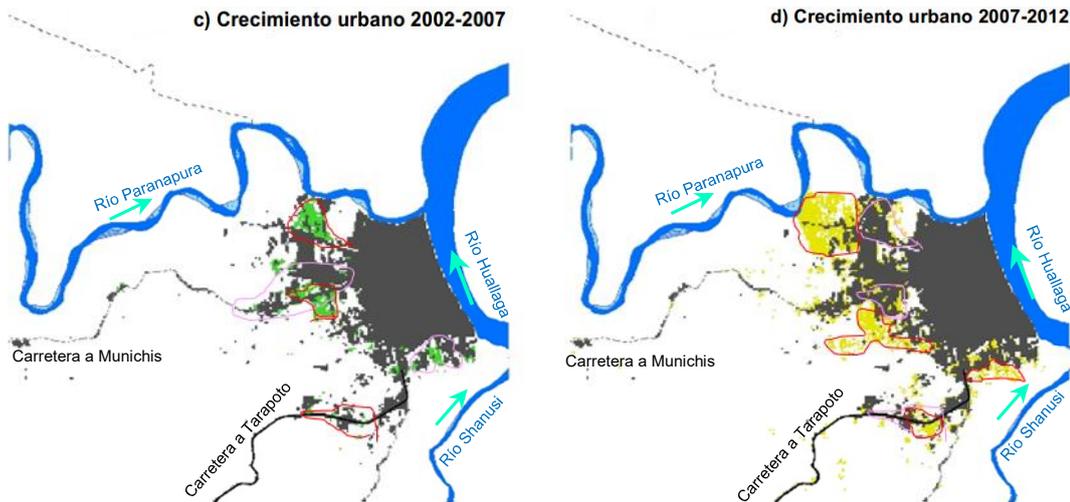


Figura N° 17. Visualización de tipos de patrones de crecimiento urbano en Yurimaguas en los periodos 2002-2007 (c) y 2007-2012 (d)

Nota: Los patrones resaltados en el periodo analizado están en color rojo, mientras que los patrones en el periodo inmediato anterior aparecen en líneas rosadas para cada figura.

Elaboración propia.

En el crecimiento urbano de Yurimaguas entre 2007-2012 (Ver Figura N° 17.d) se presentan los siguientes patrones: expansión, relleno, aislado, y un bajo patrón de rama lineal. Los desarrollos de patrón de expansión más importantes suceden otra vez al noroeste y en la parte media de la ciudad de Yurimaguas: [1] Una expansión intensa se ubica al oeste de la zona de expansión previa (2002-2007), esta vez hasta hacer contacto con el río Paranapura por el oeste; y [2] otra expansión en la parte media al sur de una expansión previa (2002-2007). Cabe resaltar que el 2011, ya se sabía que una vía en dirección al nuevo puerto iba a ser construida. El Estudio de Impacto Ambiental de dicha obra se aprobó a fines de 2011 (ver Tabla 3). Recordar que estos estudios tienen participación ciudadana como condición para su aprobación. También, se da un patrón de crecimiento urbano de expansión de menor medida en la parte sur de la ciudad al sur de una expansión previa (1997-2002) frente al río Shanusi y en toda la periferia. El patrón aislado se da en zonas cercanas a las vías a Munichis y Tarapoto. El patrón de

relleno se da en la zona de expansión previas (2002-2007) y a lo largo de la periferia de la ciudad

En el crecimiento urbano de Yurimaguas entre 2012- 2017 (ver Figura N° 18.e), se presentan los cinco tipos de crecimiento urbano: el patrón de expansión, relleno, de ramal lineal, de rama agrupada, y aislada. Los más resaltantes en este quinquenio son el crecimiento de rama lineal a lo largo de la vía de acceso al puerto, el patrón de relleno de las expansiones previas del periodo 2007-2012 (líneas lila) y a lo largo de toda la periferia. Un patrón de rama agrupada se puede apreciar en la parte media de la ciudad cercana a la carretera Tarapoto-Yurimaguas, y también cercana a la vía de acceso al puerto. El patrón aislado sorprende pues por primera vez se ocupan zonas al norte del río Paranapura, en zonas cercanas a la vía de acceso al puerto.

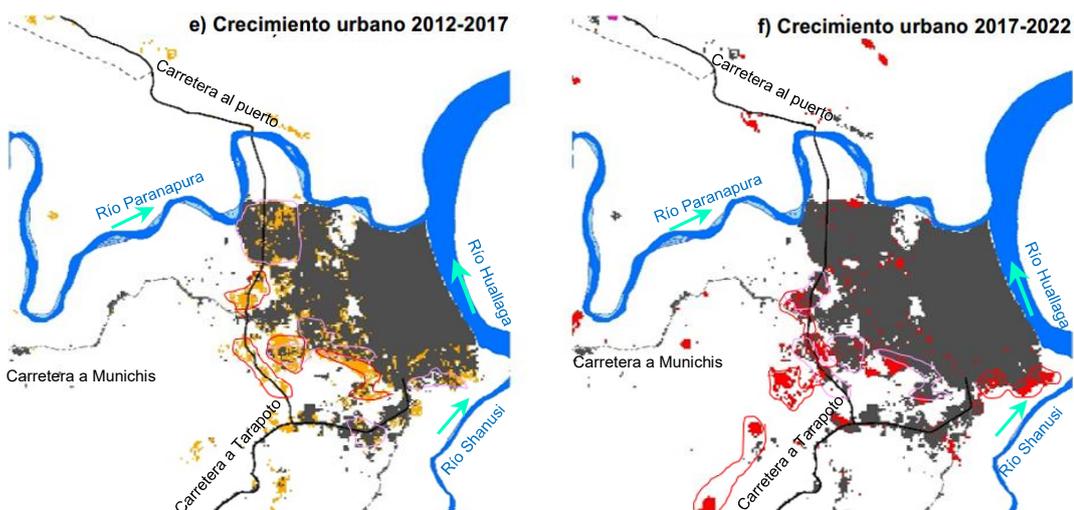


Figura N° 18. Visualización de tipos de patrones de crecimiento urbano en Yurimaguas en los periodos 2012-2017 (e) y 2017-2022 (f)

Nota: Los patrones resaltados en el periodo analizado están en color rojo, mientras que los patrones en el periodo inmediato anterior aparecen en líneas rosadas para cada figura.

Elaboración propia.

En el crecimiento urbano de Yurimaguas entre 2017-2022 (ver Figura N° 18.f), se presentan en orden de importancia un patrón aislado, expansión, de rama agrupada, de rama lineal y relleno. El patrón aislado se encuentra en zonas cercanas a las vías. Algunas ocupaciones aisladas se siguen dando al norte del río Paranapura, unas cercanas a la vía de acceso al puerto y otras no (como la que está al sur del Terminal Portuario Yurimaguas-Nueva Reforma). Otras se

encuentran cercanas a la carretera a Munichis. Una expansión resaltante se da en la parte sur de la ciudad cercana al encuentro del río Shanusi con el río Huallaga, y en la parte media. El patrón de rama lineal se puede observar a lo largo de la vía de acceso al nuevo puerto en el tramo entre el cruce de vías nacionales y el puente Parapapura. El patrón de rama agrupada se presenta en la zona media al oeste de la vía de acceso al puerto. El patrón de relleno se presenta más en la parte media y noroeste de la ciudad de Yurimaguas.

La presencia de algunos tipos de patrones de crecimiento urbano de Wilson, también muestran un cambio. La Tabla 16 presenta los patrones de crecimiento urbano más resaltantes de cada periodo de crecimiento urbano de Yurimaguas. Siendo el patrón de expansión el que ha sido importante en todos los periodos, le sigue en orden de permanencia el patrón aislado y patrón de rama lineal que estuvieron presentes en cinco periodos cada uno, el patrón de relleno con tres periodos y por último el de rama agrupada presente en los dos últimos periodos. Tomando en cuenta solo del 2002-2022 (durante el ciclo de IIRSA), el orden de permanencia de los patrones sería: expansión o rama lineal, aislado, y relleno o rama agrupada.

También se puede notar un cambio en el número de tipos de patrones de crecimiento urbano. En el periodo 1997-2002 y 2002-2007 antes del desarrollo de infraestructura de IIRSA se presentaban patrones expansión, relleno y aislado (ver Tabla 16). Mientras que en los periodos de mayor intensidad de crecimiento (2007-2012, 2012-2017 y 2017-2022), en periodos de desarrollo de infraestructura de IIRSA, se presentan más tipos de patrones de crecimiento urbano de forma resaltante, agregándose la rama lineal y rama agrupada.

Tabla 16. Patrones de crecimiento urbano de Yurimaguas más resaltantes entre 1992-2002

Patrones	1992-1997	1997-2002	2002-2007	2007-2012	2012-2017	2017-2022
Expansión	x	x	x	x	x	x
Relleno	x	x		x	x	
Aislado	x	x		x	x	x
Rama agrupada					x	x
Rama Lineal	x		x	x	x	x

Elaboración propia

El patrón de crecimiento urbano más recurrente en los 30 años analizados es el patrón de expansión (ver Tabla 16). Asimismo, si bien el patrón de expansión está presente en todos los periodos desde el inicio de IIRSA (2000 en adelante), el grado de aglomeración varía: en los periodos 2002-2007 y 2007-2012 esta expansión fue en bloques aglomerados en comparación a las expansiones de los periodos últimos (2012-2017 y 2017-2022) que son más bien distribuidas en diversas ubicaciones. Por otro lado, luego de aparecer el patrón de expansión en bloque en un periodo, en el siguiente periodo y en las mismas zonas, el patrón de relleno aparece con mayor intensidad.

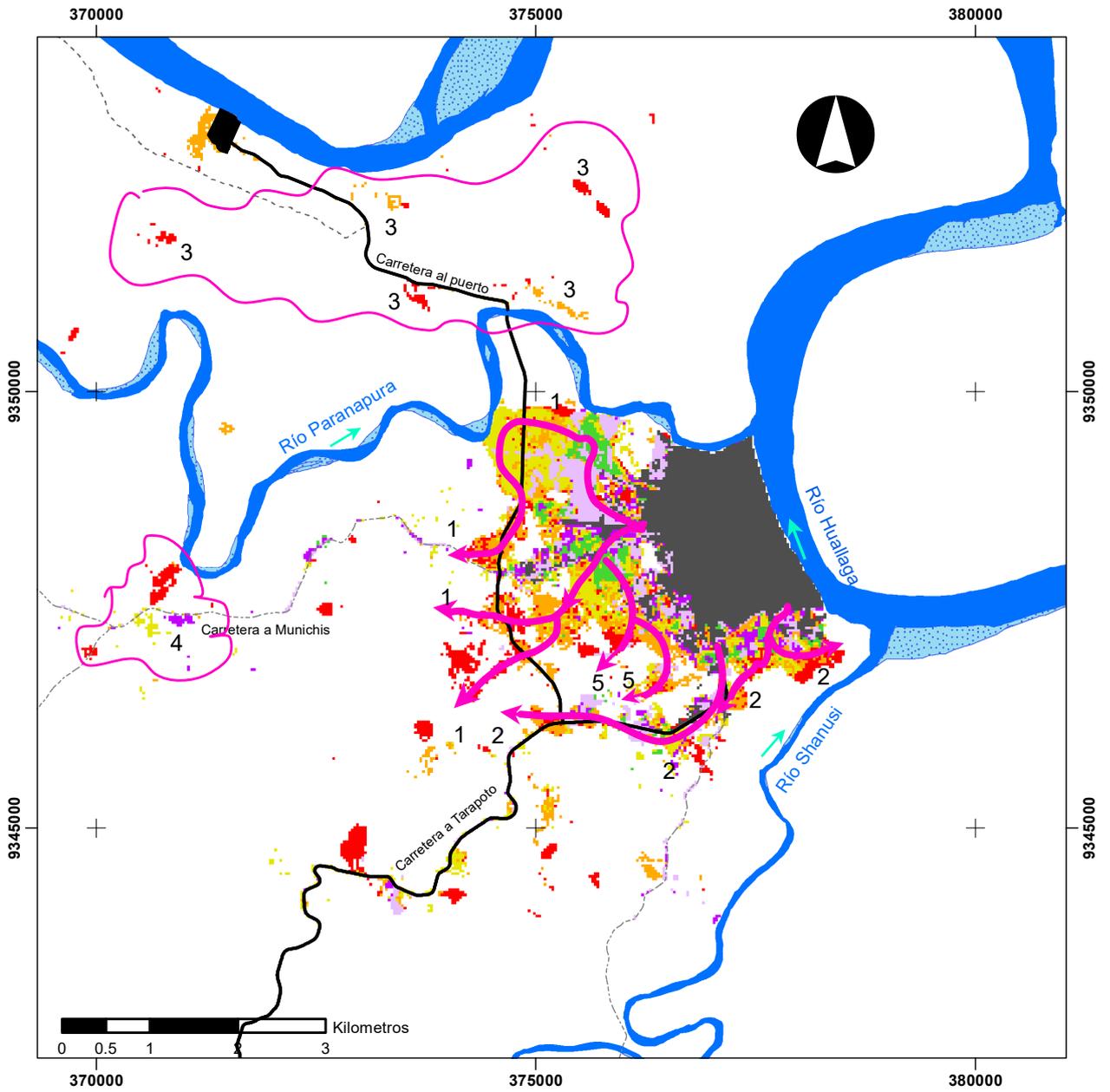
Asimismo, llama la atención que el patrón de rama lineal presente en la carretera Yurimaguas-Tarapoto mantiene su extensión en todos los periodos a partir del 2000, no crece. Esto puede deberse a que luego de construida la vía de acceso al Terminal Portuario Yurimaguas-Nueva Reforma, la anterior carretera haya perdido atracción. Siendo la zona circundante a esta nueva vía de acceso la que luego presenta con mayor importancia este patrón de rama lineal.

El patrón aislado está presente en todos los periodos. Sin embargo, en el periodo 2002-2007 es donde presenta menor importancia en comparación a los demás periodos. Esto es comprensible si se entiende dentro de un proceso de espera. En cambio, este patrón ha ido cobrando protagonismo a partir de 2007, y sobre todo en los últimos periodos 2012-2017, y 2017-2022. Acompañada del patrón de rama agrupada.

4.4.4. Trayectorias de crecimiento urbano

En el anterior acápite (4.4.3) se analizó los diferentes patrones de crecimiento urbano por quinquenio, una lectura longitudinal de las ubicaciones de estos patrones permite esbozar trayectorias de crecimiento urbano.

En la Lámina N° 5 se muestra las trayectorias de crecimiento urbano de Yurimaguas entre 1992-2022. Con ayuda de esta gráfica, se presenta una descripción de las cinco trayectorias encontradas en las siguientes líneas:



Elaboración propia a partir de la detección de cambios de imágenes satelitales multiespectrales de las misiones Landsat 5 y Landsat 8 con 30m de res. para los años 1992,1997,2002,2007,2012,2017 y 2022; adquisición de imágenes en Google Earth Engine. Escala 1:75,000

Leyenda

Terminal Portuario*	Playas e islas fluviales	Crec. Urbano 1992-1997	Crec. Urbano 2007-2012
Red vial nacional	Ríos Navegables	Crec. Urbano 1997-2002	Crec. Urbano 2012-2017
Red vial departamental	Area Urbana Base	Crec. Urbano 2002-2007	Crec. Urbano 2017-2022
Red Vecinal	Nota: (*) Terminal Portuario Yurimaguas - Nueva Reforma		

Trayectorias

- 1, 2 y 5
- 3 y 4

Nota: Una breve descripción de las trayectorias se presenta en la sección 4.4.4.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		
Tesis de grado: "Monitoreo de crecimiento urbano durante el desarrollo de infraestructura de gran escala en la Amazonía peruana. El caso de Yurimaguas"		
Título: LAMINA 5. TRAYECTORIAS DE CRECIMIENTO URBANO DE YURIMAGUAS (1992 - 2022)		
Proyección: WGS84 UTM 18S	Escala: 1:75,000	Lámina: L-05
Elaboración: Arturo Rogger Turpo Barrios		Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Landsat 5 y 8.

1) Una de las trayectorias se da desde el límite de área urbana 1992 hacia la carretera IIRSA-Eje Amazonas de forma transversal (a la vía que lleva al Terminal Portuario Yurimaguas-Nueva Reforma. Con mayor intensidad en la parte norte de la ciudad (más cercana al río Parapapura) pues data de 2007-2012 y, antes de la construcción de la vía al puerto puesta entre 2013-2015. La parte central es más reciente 2012-2017, y 2017-2022 pero de igual intensidad. Superando el límite impuesto por la vía al nuevo puerto Yurimaguas-Nueva Reforma y en dirección suroeste buscando ahora nuevos límites de crecimiento (ver Lámina 5, numeral 1).

2) Otra trayectoria de expansión se da en la parte sur de la ciudad de Yurimaguas, siguiendo la dirección de la Av. Sifuentes (la primera carretera que conectaba a Yurimaguas con Tarapoto construida en 2005-2007) y otra creciendo de forma constante ampliando el límite hacia el río Shanusi.

Por otro lado, nuevas trayectorias de crecimiento, aunque de menor intensidad ha sucedido en los últimos años (2017-2022) en dos frentes: 3) En las márgenes de la vía IIRSA, entre el Terminal Portuario Yurimaguas-Nueva Reforma y el puente Parapapura. Esta zona está experimentando ocupación aislada reciente 2017-2022 (ver lámina 5, numeral 3). Y el otro frente se da en, 4) las cercanías a carretera Yurimaguas-Munichis donde hay varias áreas de crecimiento urbano recientes. Es conveniente resaltar que las obras de asfaltado de esta carretera vecinal se ejecutaron entre 2016-2022.

Por último, 5) la trayectoria entre el área urbana de 1992 y el cruce de vías nacionales tiene mucha menos velocidad de crecimiento en los últimos años. Se ha quedado relegada.

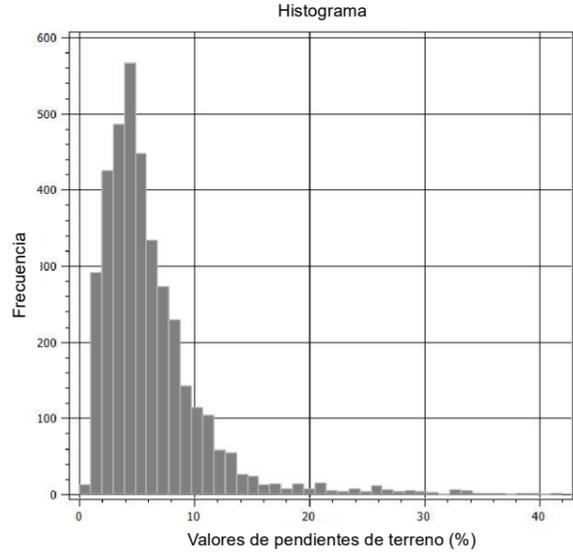
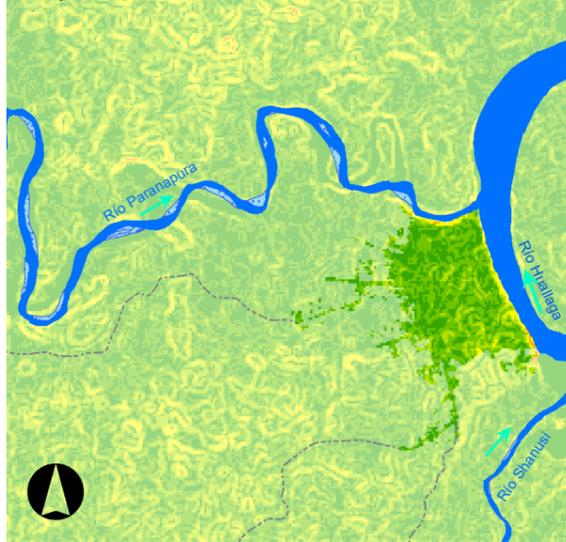
Entre 1992 y 2022, las trayectorias de crecimiento urbano de Yurimaguas parecen estar atraídas por la infraestructura ya sea el corredor multimodal IIRSA-Eje Amazonas (que incluye el nuevo puerto), el aeropuerto CORPAC o la carretera Yurimaguas- Munichis. Asimismo, las zonas de frontera fluvial al río Parapapura y Shanusi parece ser también un atractor para las nuevas ocupaciones urbanas.

4.4.5. Pendientes de terreno de las áreas de crecimiento urbano

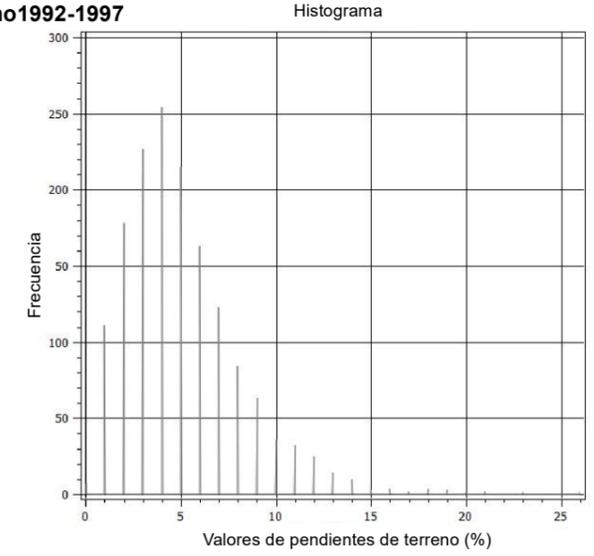
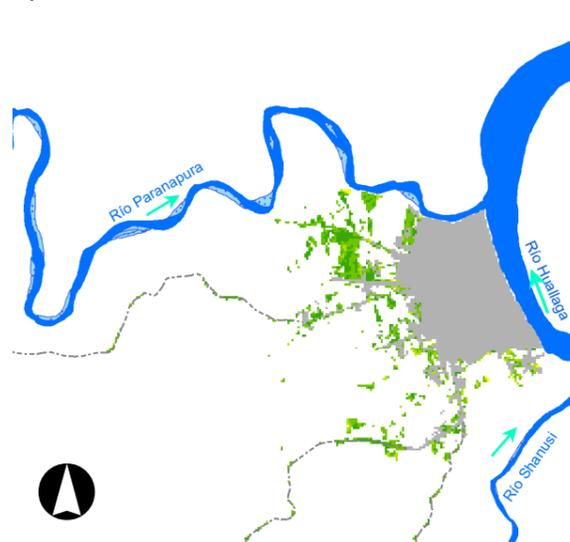
En las láminas 6 y 7 se muestran pendientes de terreno sobre las áreas de crecimiento urbano, su distribución en el espacio y distribución numérica (histograma) desde 1992 hasta 2022. Al observar los histogramas de todas las áreas de crecimiento (a-f) y las áreas urbanas totales (1992, 2022), se puede notar que las ocupaciones urbanas de Yurimaguas presentan mayoritariamente pendientes de terreno entre 0 y 20%, son por lo tanto superficies de pendiente baja. En efecto, la mayoría de áreas urbanas se han asentado sobre zonas con pendientes entre 0-15%, es decir, superficies planas o casi planas, ligeramente onduladas y moderadamente onduladas; y, de forma progresiva se están ocupando terrenos con pendientes onduladas (15-20%) seguramente por otros beneficios que la ubicación les ofrece. Pendientes mayores a 20%, según la clasificación del reglamento especial de habilitaciones urbanas, con consideradas habilitaciones en ladera. Estas se presentan en el modelo digital del terreno de Yurimaguas en muy baja proporción (ver histogramas). Por otro lado, las pendientes de terreno en el toda el área de estudio son también mayoritariamente bajas (0-20%), ya que se trata de una región en la Amazonía baja. Entonces, el territorio presenta pendientes parecidas ya sea para zonas urbanas y zonas no urbanas. Adicionalmente, no se observan cambios drásticos entre las pendientes de un área de crecimiento urbano y otra cinco años más tarde, por lo menos no dentro de los años de monitoreo (1992-2022). Por lo tanto, en Yurimaguas la pendiente del terreno no estaría ejerciendo una función decisoria en el crecimiento urbano entre 1992-2022.

Por otro lado, el análisis de la pendiente de terreno, realizado en esta investigación, utilizó un modelo digital del terreno de libre acceso de 30m de resolución y escala global recientemente liberada por NASA JPL (2020), por lo que el nivel de precisión local esperado es bajo. Sin embargo, para la escala de trabajo, es decir, un monitoreo de crecimiento urbano que usa imágenes de baja resolución, y al no contar con topografía detallada de la zona, este análisis es satisfactorio pues está revelando una tendencia. Mejores resultados se podrían obtener al analizar la detección de cambios con imágenes de sensores remotos con más alta resolución y modelos digitales de terreno producto de estudios de topografía detallada. Sin embargo, estos modelos de elevación del terreno no están disponibles para la mayoría de ciudades del territorio peruano, por lo que su uso no sería de replicación factible para otros casos, fin que este trabajo persigue.

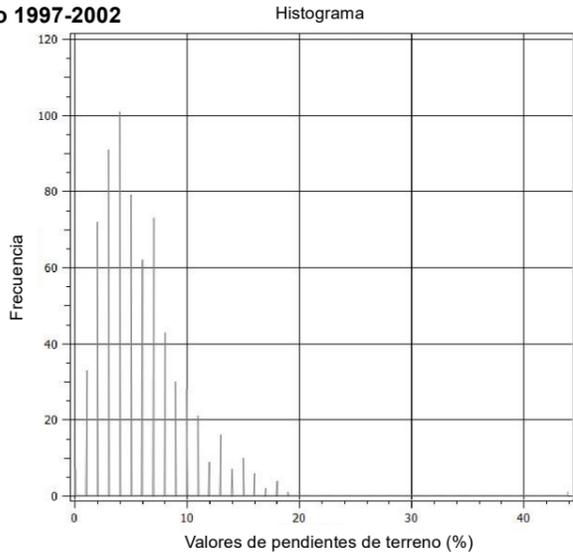
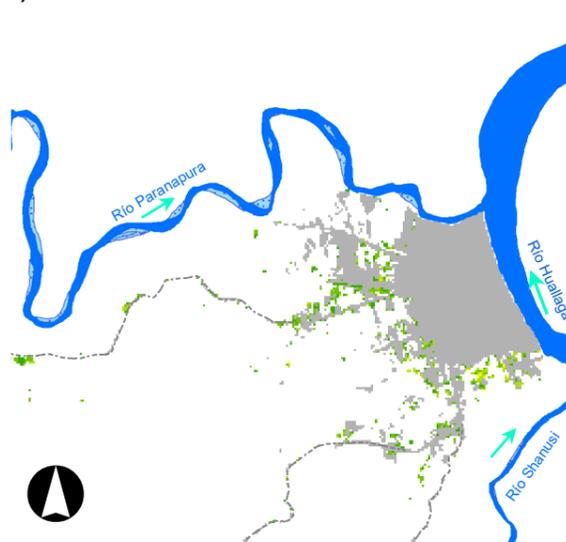
i) Pendientes de terreno sobre área urbana 1992



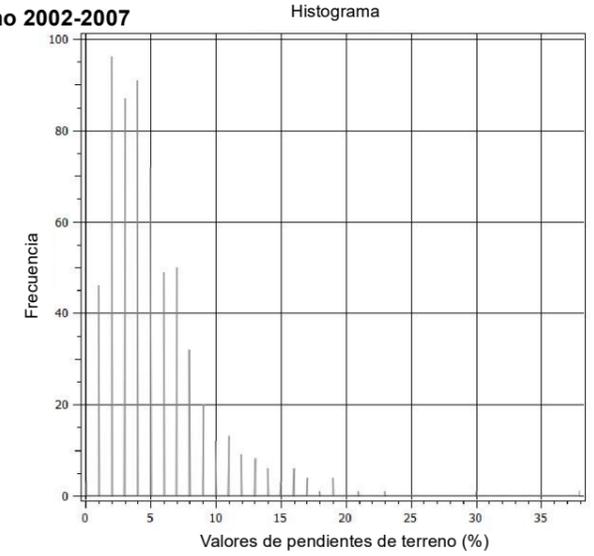
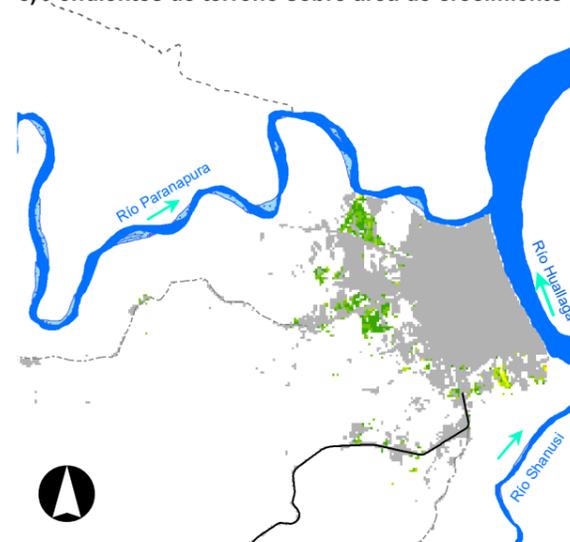
a) Pendientes de terreno sobre área de crecimiento urbano 1992-1997



b) Pendientes de terreno sobre área de crecimiento urbano 1997-2002



c) Pendientes de terreno sobre área de crecimiento urbano 2002-2007



Nota: Obsérvese los mapas de distribución espacial e histograma (a la derecha de cada mapa) de los valores de pendientes de terreno según área de crecimiento urbano por quinquenio entre 1992-2007. Los valores de pendientes de terreno se obtuvieron a partir del modelo de elevación digital (DEM) de NASA-SRTM v3 con 30m de resolución; adquisición de DEM a través de Google Earth Engine. Escala 1:100,000

Leyenda

- Terminal Portuario*
- Playas e islas fluviales
- Red vial nacional
- Ríos Navegables
- Red vial departamental
- Area Urbana Base
- Red Vecinal

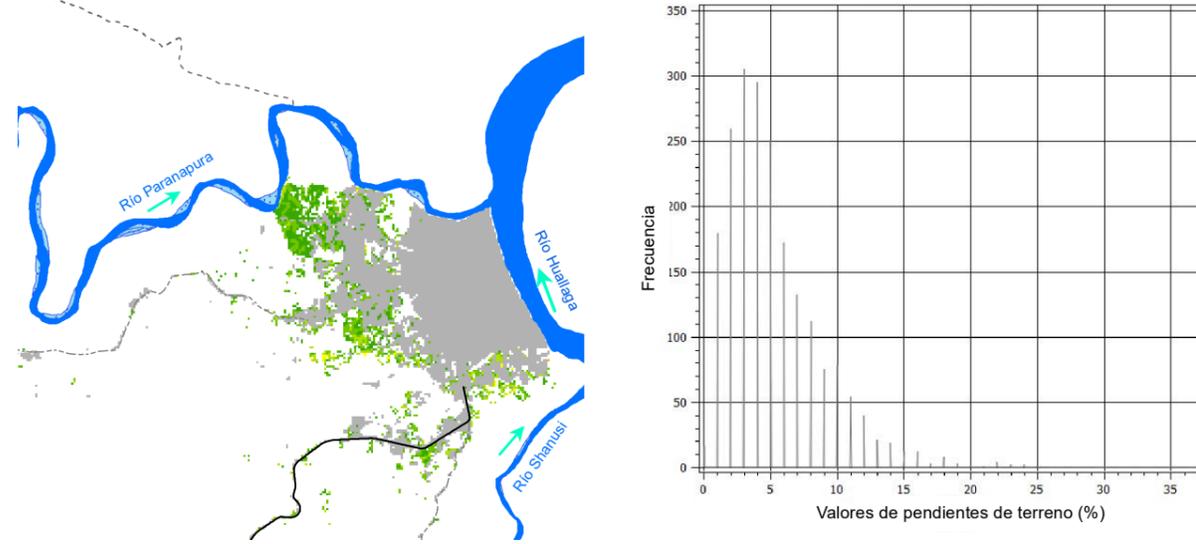
Pendientes de terreno

- Plano o casi plano (<3%)
- Ligeramente ondulado (3-8%)
- Moderadamente ondulado (8-15%)
- Ondulado (15-30%)
- Fuertemente ondulado (30-60%)
- Escarpado (60-75%)
- Fuertemente escarpado (>75%)

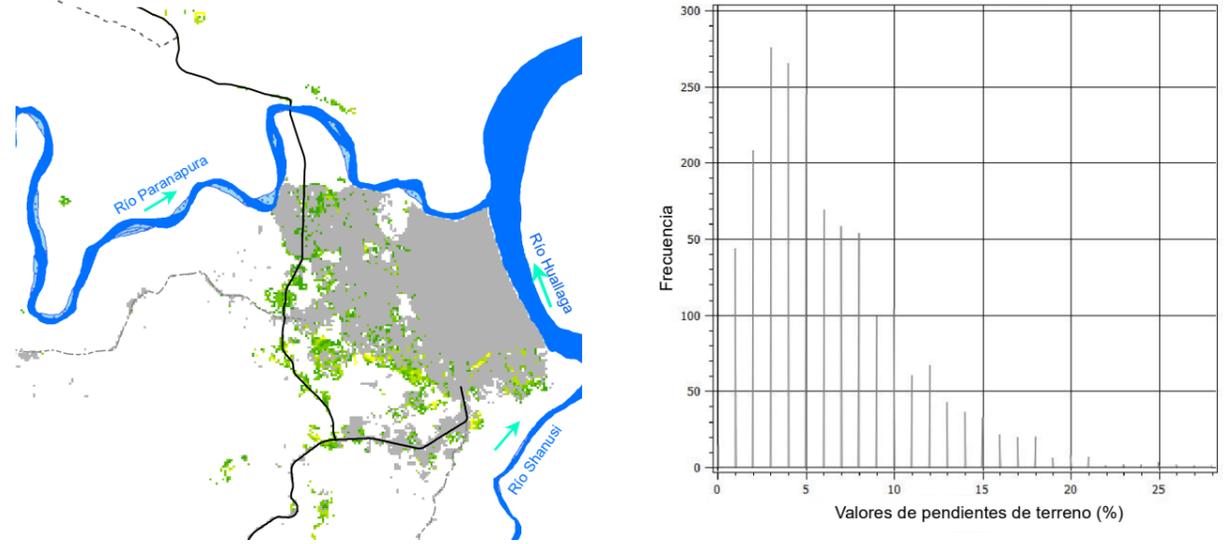
Nota: (*) Terminal Portuario Yurimaguas - Nueva Reforma. La escala de pendientes fue obtenida del servicio WMS del Atlas Eólico del Perú (MINEM, 2016)

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</p>		
Tesis de grado: "Monitoreo de crecimiento urbano durante el desarrollo de infraestructura de gran escala en la Amazonía peruana. El caso de Yurimaguas"		
Título: LAMINA 6. PENDIENTES DE TERRENO SEGÚN ÁREA DE CRECIMIENTO URBANO DE YURIMAGUAS (1992 - 2007)		
Proyección:	WGS84 UTM 18S	Escala:
		1:100,000
Elaboración:	Arturo Rogger Turpo Barrios	Fuente:
		Elaboración propia a partir de DEM NASA-SRTM v3.
		Lámina: L-06

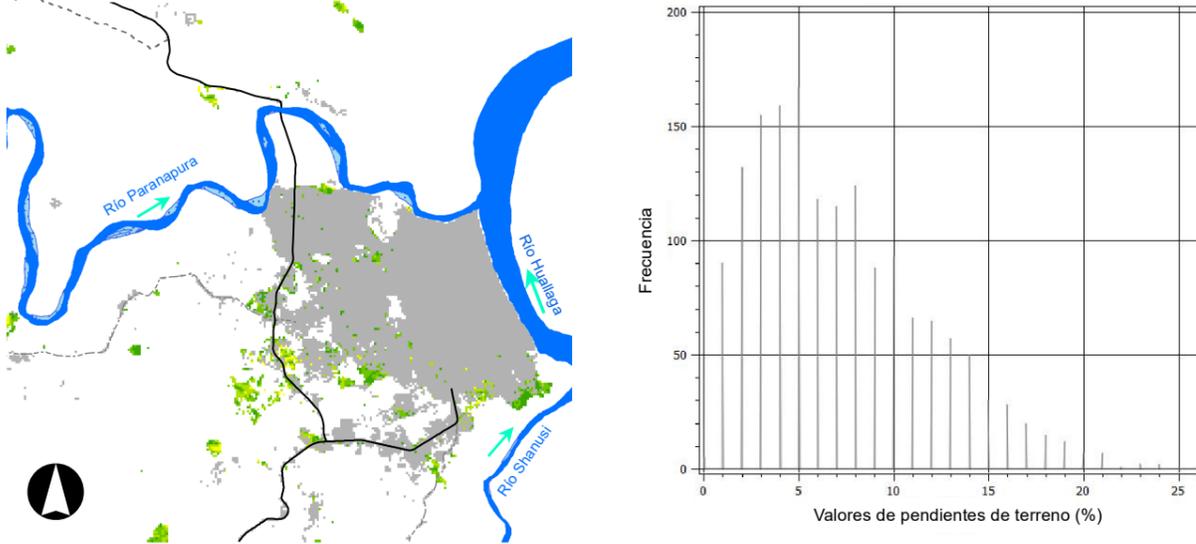
d) Pendientes de terreno sobre área de crecimiento urbano 2007-2012



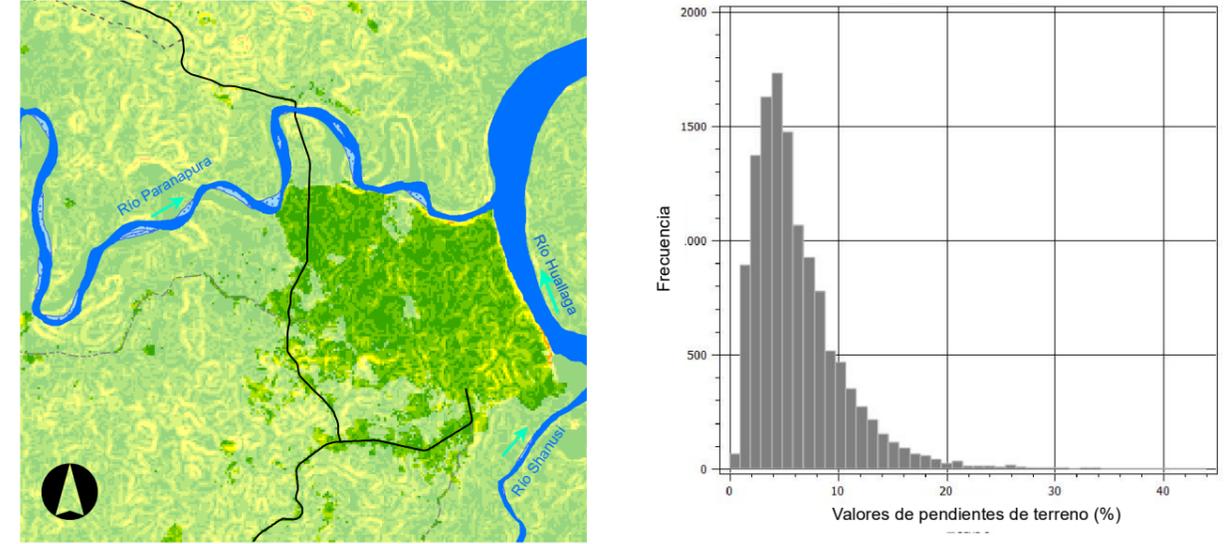
e) Pendientes de terreno sobre área de crecimiento urbano 2012-2017



f) Pendientes de terreno sobre área de crecimiento urbano 2017-2022



ii) Pendientes de terreno sobre área urbana 2022



Nota: Obsérvese los mapas de distribución espacial e histograma (a la derecha de cada mapa) de los valores de pendientes de terreno según área de crecimiento urbano por quinquenio entre 1992-2007. Los valores de pendientes de terreno se obtuvieron a partir del modelo de elevación digital (DEM) de NASA-SRTM v3 con 30m de resolución; adquisición de DEM a través de Google Earth Engine. Escala 1:100,000

Leyenda

- Terminal Portuario*
- Playas e islas fluviales
- Red vial nacional
- Ríos Navegables
- Red vial departamental
- Area Urbana Base
- Red Vecinal

Pendientes de terreno

- Plano o casi plano (<3%)
- Ondulado (15-30%)
- Ligeramente ondulado (3-8%)
- Fuertemente ondulado (30-60%)
- Moderadamente ondulado (8-15%)
- Fuertemente escarpado (>75%)
- Escarpado (60-75%)

Nota: (*) Terminal Portuario Yurimaguas - Nueva Reforma. La escala de pendientes fue obtenida del servicio WMS del Atlas Eólico del Perú (MINEM, 2016)

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</p>		
Tesis de grado: "Monitoreo de crecimiento urbano durante el desarrollo de infraestructura de gran escala en la Amazonía peruana. El caso de Yurimaguas"		
Título: LAMINA 7. PENDIENTES DE TERRENO SEGÚN ÁREA DE CRECIMIENTO URBANO DE YURIMAGUAS (2007 - 2022)		
Proyección:	WGS84 UTM 18S	Escala:
		1:100,000
Elaboración:	Arturo Rogger Turpo Barrios	Fuente:
		Elaboración propia a partir de DEM NASA-SRTM v3.
		Lámina:
		L-07

4.5. Análisis II: Grado de crecimiento urbano disperso

Los resultados de la métrica Proliferación Urbana Ponderado (WUP) para cuantificar el grado de crecimiento urbano disperso en la ciudad de Yurimaguas entre 1992-2022 se presentan en la Figura N° 19.a y Tabla 17. Esta métrica presenta varios factores los cuales también se analizan (ver Figura N° 19).

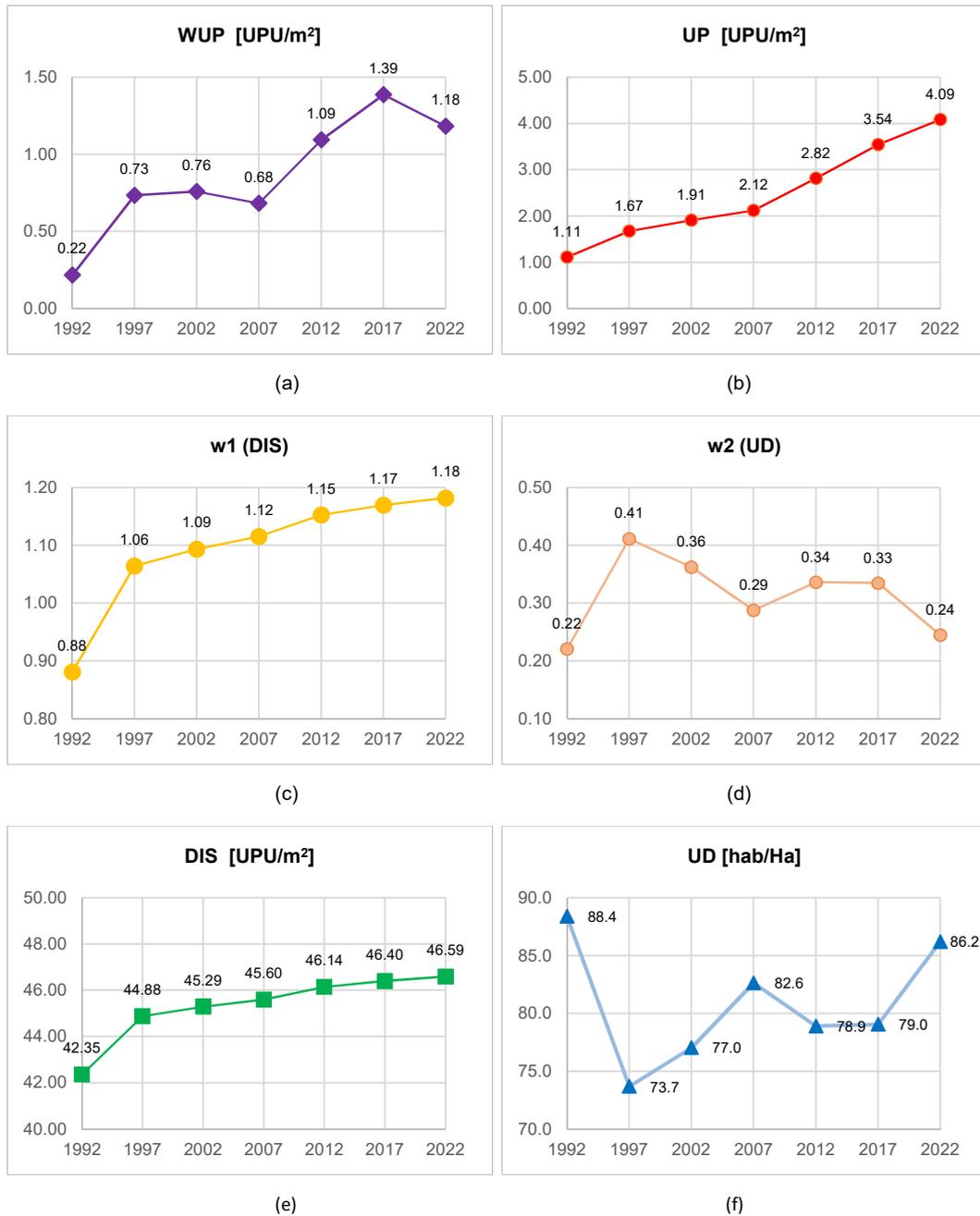


Figura N° 19. Gráficas de la métrica de Proliferación Urbana Ponderada y sus factores usadas para describir el grado de crecimiento urbano disperso de Yurimaguas.

Elaboración propia.

A partir de los valores expresados en la Figura N° 19 y Tabla 17, se hará una descripción detallada de cada métrica en las siguientes líneas.

Tabla 17. Valores de la métrica Proliferación Urbana Ponderado (WUP) y sus factores para la ciudad de Yurimaguas en los años 1992, 1997, 2002, 2007, 2012, 2017 y 2022

Año	WUP [UPU/m ²]	UP [UPU/m ²]	w1 (DIS)	w2 (UD)	DIS [UPU/m ²]	UD [hab/Ha]
1992	0.22	1.11	0.88	0.22	42.35	88.40
Δ	–	–	–	–	–	–
1997	0.73	1.67	1.06	0.41	44.88	73.68
$\Delta(1992-1997)$	+0.52	+0.56	+0.18	+0.19	+2.53	-14.72
2002	0.76	1.91	1.09	0.36	45.29	77.03
$\Delta(1997-2002)$	+0.02	+0.24	+0.03	-0.05	+0.40	+3.35
2007	0.68	2.12	1.12	0.29	45.60	82.63
$\Delta(2002-2007)$	-0.08	+0.21	+0.02	-0.08	+0.32	+5.60
2012	1.09	2.82	1.15	0.34	46.14	78.90
$\Delta(2007-2012)$	+0.41	+0.70	+0.04	+0.05	+0.54	-3.73
2017	1.39	3.54	1.17	0.33	46.40	79.04
$\Delta(2012-2017)$	+0.29	+0.73	+0.02	-0.00	+0.26	+0.14
2022	1.18	4.09	1.18	0.24	46.59	86.21
$\Delta(2017-2022)$	-0.20	+0.54	+0.01	-0.09	+0.19	+7.17

Nota: Los valores a la altura de los años de análisis son los valores absolutos de las métricas, mientras que los valores a la altura de $\Delta()$ son valores de variación relativos al año inmediato anterior de análisis, mediante una diferencia aritmética entre el año "X" y el año "X-5". Los signos + expresan aumento, y – una disminución relativa al año anterior. Elaboración propia.

4.5.1. Grado de Dispersión Urbana (DIS)

El gráfico (e) de la Figura N° 19 muestra que el grado de dispersión de la ciudad de Yurimaguas tiene una tendencia al alza permanente en los últimos 30 años. Convirtiendo los valores de la métrica de grado dispersión urbana (DIS) en valores relativos a su inmediato anterior se obtiene lo siguiente: el mayor incremento del grado de dispersión del área edificada se da entre 1992-1997 (+2.53 UPU/m²). Luego, los demás incrementos son más leves: +0.40 UPU/m² entre 1997-2002, +0.32 UPU/m² entre 2002-2007, +0.54 UPU/m² entre 2007-2012, +0.26 UPU/m² entre 2012-2017 y +0.19 UPU/m² entre 2017-2022 (ver Figura N° 20). Si se ordenan los cambios de acuerdo a la intensidad de estos. Se puede notar que la métrica refleja que entre 1992-1997 la estructura espacial de la ciudad de Yurimaguas experimenta el mayor incremento de grado dispersión. Luego, el segundo mayor incremento de grado de dispersión se da entre 2007-2012. Recordemos que el periodo 2007-2012 se da la primera ejecución de proyectos

de infraestructura de IIRSA (carretera Tarapoto-Yurimaguas). Posteriormente, el tercer mayor incremento se da entre 1992-2002 y el cuarto entre 2002-2007; periodos donde no se ejecuta ningún proyecto. Y finalmente, los cambios más leves se dan entre 2012-2017 y 2017-2022 siendo este último el menor de todos. Contrario a lo esperado la métrica DIS no muestra una gran variación en el periodo 2012-2017, donde se ejecutan dos proyectos de infraestructura de IIRSA: la vía de acceso al nuevo puerto y el Terminal Portuario Yurimaguas-Nueva reforma; ni tampoco en el periodo en el periodo de funcionamiento parcial del corredor (2017-2022)

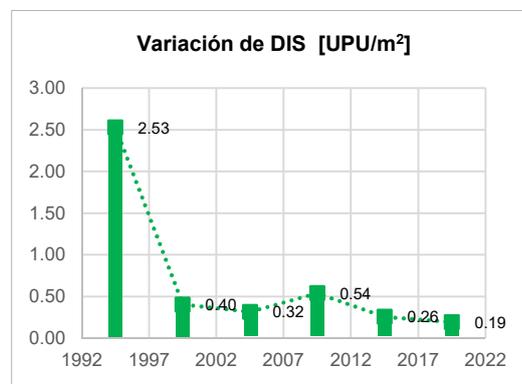


Figura N° 20. Gráfica de la variación de la métrica de dispersión (DIS) en la ciudad de Yurimaguas, por periodos quinquenales entre 1992-2022.

Elaboración propia.

Cuando se observa los patrones de crecimiento urbano para los quinquenios 2012-2017 y 2017-2022 (Lámina N° 4.e-f), se llega a notar que no solo que los parches disminuyen en tamaño, sino que se van alejando del centro de la ciudad. La métrica de dispersión con un horizonte de percepción de 2 km no está retratando esto de forma confiable en los últimos periodos pues de acuerdo a la Figura N° 20, esos periodos son los de menor dispersión. Las pequeñas manchas o parches que se muestran aislados unos respecto de otros (patrón aislado de crecimiento urbano) de un periodo, luego se van aglomerando a medida que aparecen manchas intermedias entre las dispersas anteriormente. Haciendo que la métrica de Dispersión no registró un cambio abrupto en los alejamientos.

4.5.2. Densidad poblacional (UD)

Para poder calcular la densidad poblacional de Yurimaguas a lo largo del tiempo, es preciso primero estimar la población para los años de análisis: 1992, 1997,

2002, 2007, 2012, 2017 y 2022. Algunas de estas fechas coinciden con censos de población realizados por INEI ya que esa fue una condición para escoger los años de análisis. Otros, han sido estimados a partir de los datos de población de los censos, los valores de crecimiento intercensal y fórmulas de crecimiento geométrico para interpolar. La Figura N° 21 muestra el crecimiento poblacional de Yurimaguas en áreas urbana, rural y todo el distrito, a lo largo de los Censos Nacionales INEI 1993, 2007,2017. Cabe resaltar que el crecimiento de la población urbana tiene una marcada tendencia creciente ya desde 1993. Este crecimiento es además progresivo pues el último periodo intercensal 2007-2017 muestra una intensificación. Así, la ciudad de Yurimaguas es un pequeño polo de atracción para la migración de personas (INEI,1993,2007,2017). En cambio, la población rural, ha experimentado un descenso entre (1993-2007), y se ha mantenido casi estática en los siguientes años, no llegando a tener el número de habitantes que en 1993.

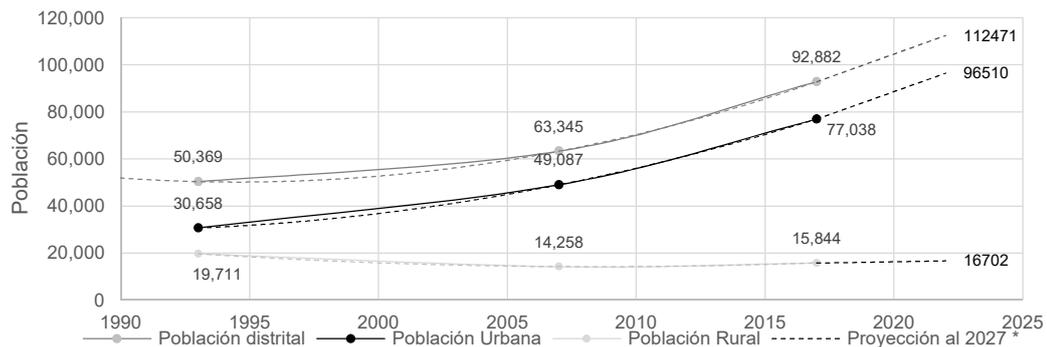


Figura N° 21. Proyección de crecimiento poblacional de Yurimaguas.

Fuente: Censos de Población INEI 1993,2007,2017

Volviendo al cálculo de la población urbana para los años de análisis. A continuación, se presenta un ejemplo de esta estimación: en el Censo INEI del 2017 se registró una población urbana de 77,038 habitantes, Yurimaguas. En el último periodo intercensal 2007 a 2017 registra una tasa de crecimiento geométrico de 4.6% anual. Con esta tasa de crecimiento se hace una proyección hacia el 2022, considerando la misma tasa de crecimiento para el siguiente periodo intercensal (2017-2027). Entonces, en el 2022 se tendría 96,510 habitantes. Lo mismo se realizó para los otros años de análisis: 1992, 2002,2012 (ver Tabla 18) utilizando la tasa de crecimiento geométrico de 3.4% anual del periodo intercensal entre 1993-2007 cuando corresponda. Por otro lado, con una población de 77,038 - 96,510 habitantes entre 2017- 2022, la ciudad de

Yurimaguas es considerada en el SINCEP como una ciudad intermedia principal dentro del subsistema de Tarapoto, y a la vez un centro dinamizador en su ámbito de influencia. En un futuro cercano Yurimaguas entrará en el rango de ciudad mayor lo que reflejaría una mayor autonomía funcional (MVCS, 2022).

Tabla 18. Valores de Población Urbana, Área urbana total y densidad Poblacional en Yurimaguas entre 1992 y 2022.

Año	Población urbana (Hab)	Area Urbana Total (Ha)	Densidad poblacional (hab/Ha)
1992	29645	335.34	88.4
1997	35072	476.01	73.7
2002	41492	538.83	77.0
2007	49087	594.27	82.6
2012	61495	779.58	78.9
2017	77038	974.88	79.0
2022	96511	1119.69	86.2

Elaboración propia.

Luego, con los valores de Población y Área Total Urbana obtenidos en el análisis I, se obtuvo la densidad poblacional, la cual se muestra en la Tabla 18 y gráfica (f) de la Figura N° 19. De hecho, la gráfica (f) de la Figura N° 19 presenta un comportamiento variable de la densidad poblacional (UD) entre 1992-2022, para observarlo mejor en la Figura N° 22 se muestra la variación de la densidad poblacional (UD) por quinquenio.

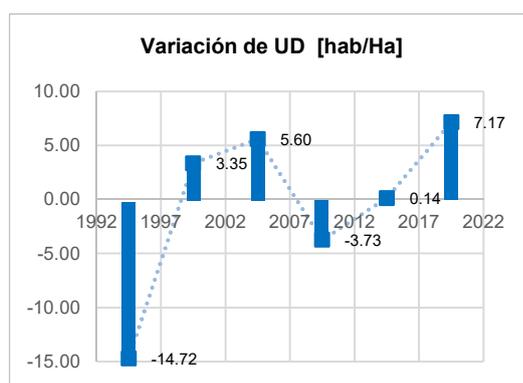


Figura N° 22. Gráfica de variación de la densidad poblacional (UD) en hab/Ha de la ciudad de Yurimaguas por quinquenio entre 1992-20022.

Elaboración propia.

De acuerdo a la Figura N° 22, la densidad poblacional (UD) experimenta primero una disminución en la densidad poblacional en el periodo 1992-1997 (-14.72 hab/Ha), la mayor en los últimos 30 años. Luego se presenta un incremento en la

densidad poblacional a partir de 1997, así los periodos 1997-2002 (+3.35 hab/Ha), y 2002-2007 (+5.60 hab/Ha) son parte de una tendencia al alza, siendo este último incremento en el periodo 2002-2007 el segundo mayor de todos. A partir de 2007, la densidad poblacional comienza a disminuir nuevamente. Esto se observa en el periodo 2007-2012 (-3.73 hab/Ha), luego se crece apenas levemente entre 2012-2017 (+0.14 hab/Ha). Y, el último periodo 2017-2022, experimenta el mayor aumento de los últimos 30 años (+7.17 hab/Ha).

Por lo tanto, la densidad poblacional en Yurimaguas ha experimentado dos caídas entre 1992-1997 y 2007-2012. Si dejamos de lado el periodo 1992-1997 como parte del ciclo del petróleo, y nos concentramos en el ciclo de IIRSA (2000 en adelante), se puede notar que la densidad poblacional ha tenido una tendencia al alza salvo entre 2007-2012 y 2012-2017 (donde experimenta picos negativos) (ver Figura N° 19.f). Entre 2007-2017 experimenta una caída y problemas para subir nuevamente, pero luego lo consigue; siendo el 2022 el año con el mayor valor de densidad poblacional de Yurimaguas en los últimos 20 años. En estos periodos de descenso de la densidad poblacional (2007-2012, 2012-2017), se presentan el segundo y primer mayor incremento de área urbana, respectivamente (Ver Figura N° 15.b). De ahí la caída de los valores de densidad. A pesar que, en los periodos 2007-2012 y 2012-2017 la tasa de crecimiento poblacional anual es mayor (4.6%) a la tasa anterior a 2007 (3.4%), este crecimiento poblacional es sobrepasado por el incremento de área. Luego, entre 2017-2022 la tasa de crecimiento del área urbana total (2.81% anual) es superada por la tasa de crecimiento poblacional (4.6%) haciendo que la densidad poblacional sea mayor. Estos periodos de picos negativos relativos (2007-2012, 2012-2017) coinciden también con la ejecución de obras del corredor de IIRSA. Por otro lado, estos valores de densidad poblacional que fluctúan entre 73.7 hab/Ha y 88.4 hab/Ha son igualmente bajas para un área urbana, en el RATDUS (2016) presentan como densidad poblacional para zonas de vivienda unifamiliar 250 hab/Ha.

4.5.3. Permeabilidad Urbana (UP)

La métrica de Permeabilidad urbana (UP) muestra un incremento continuo entre 1992 y 2022 (ver gráfica (b) de la Figura N° 19). Si se analiza por periodo restando los valores de UP relativos al año inmediato anterior de análisis, entonces se tiene la gráfica de variación de UP (ver Figura N° 23.a); la cual, se describe como sigue:

Entre 1992-1997 se da un gran incremento relativo de UP (+0.56 UPU/m²), y luego disminuye este incremento entre 1997-2002 (+0.24 UPU/m²) y 2002-2007 (+0.21 UPU/m²). Cabe resaltar un aumento resaltante de nuevo entre 2007-2012 (+0.70 UPU/m²), y también entre 2012-2017 (+0.73 UPU/m²), y luego el incremento relativo disminuye un poco entre 2017-2022 (+0.54 UPU/m²). Es decir, la tendencia indica que el grado de infiltración de suelo urbano en el paisaje está en aumento sostenido desde 1992 (los valores de variación de UP son todos positivos). A diferencia de DIS, UP no solo mide el grado de dispersión de las áreas pobladas sino también considera en la medición la cantidad de superficie de estas áreas pobladas. Si se analiza los valores durante el ciclo de IIRSA, y se ordenan los incrementos de mayor a menor se observa que el mayor incremento del grado de infiltración de suelo urbano en Yurimaguas se da en el periodo 2012-2017 (cuando se ejecutan dos obras: la vía de acceso al nuevo puerto y el Terminal Portuario Yurimaguas-Nueva Reforma), le sigue el periodo 2007-2012 como segundo mayor (lapso en el que se ejecuta la carretera Tarapoto-Yurimaguas). En tercer lugar, se encuentra el periodo 2017-2022 (durante el funcionamiento parcial del corredor). Y lo menores son los periodos 1997-2002 y 2002-2007, de forma descendente (fases donde el corredor de IIRSA aún no existía). Este orden de intensidad en los periodos es el mismo que el de la Ganancia Urbana (variación de Área Total Urbana), formando también un ciclo de auge y caída (ver Figura N° 23). Lo que refleja el gran papel que está tomando la cantidad de suelo urbano (AUT), en comparación con la dispersión (DIS) para el grado de infiltración de suelo urbano (UP) del caso de estudio.

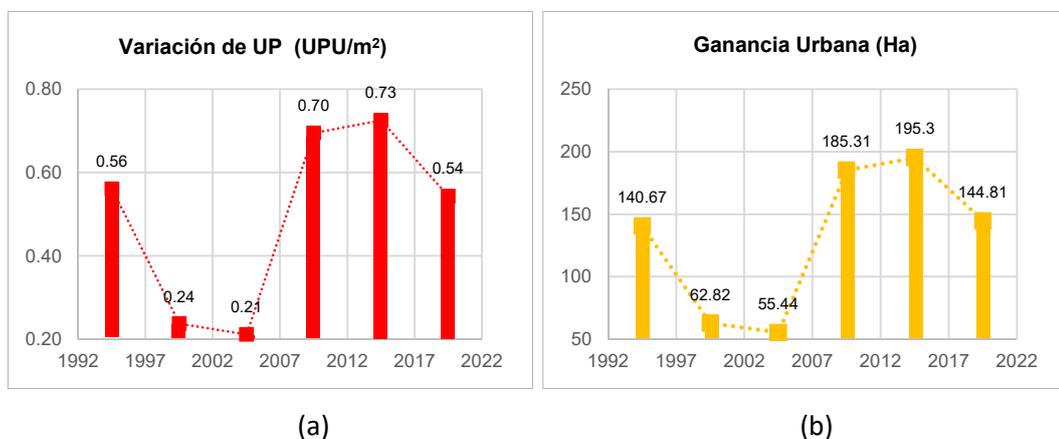


Figura N° 23. Comparación de gráficos de incrementos de las métricas Permeabilidad Urbana (a) y Ganancia Urbana (b) en la ciudad de Yurimaguas por quinquenio entre 1992-20022.

Elaboración propia.

Entonces, la gráfica (a) de la Figura N° 23 (de Variación de Permeabilidad Urbana), sugiere un crecimiento acumulativo en el tiempo del grado de infiltración de suelo urbano (UP) en el paisaje de Yurimaguas, es decir, en la medida que se va desarrollando el corredor por partes de forma progresiva, el grado de infiltración de suelo urbano en paisaje de Yurimaguas va en aumento; y en periodos donde se ejecutan obras del corredor (2007-2012, 2012-2017), los incrementos de Permeabilidad Urbana muestran una intensificación. Así también, se intensifican en periodos donde el corredor se encuentre en funcionamiento parcial (2017-2022). La métrica de Permeabilidad Urbana fue desarrollada por Jaeger et al (2010) como una forma de cuantificar el grado de crecimiento urbano disperso, al igual que WUP (que es una mejora posterior de UP propuesta en 2014). Así que, la métrica UP de forma independiente sugiere un crecimiento acumulativo del grado de crecimiento urbano disperso en Yurimaguas.

4.5.4. Factor de ponderación W1

El factor de ponderación w_1 varía en la fórmula entre 0.5 y 1.5 dependiendo del grado de Dispersión (DIS). Para el caso de estudio (la ciudad de Yurimaguas) los valores de w_1 se encuentran entre 0.88 y 1.18. La gráfica (c) en Figura N° 19 muestra una tendencia a la alza permanente del factor w_1 . Y los incrementos de w_1 muestran un comportamiento semejante a los incrementos de la métrica DIS. El mayor incremento de este factor se registra entre 1992-1997 (+0.18). Los demás incrementos son más leves entre +0.01 (entre 2017-2022) y +0.04 (entre 2007-2012), siendo este último el mayor en el ciclo de IIRSA.

4.5.5. Factor de Ponderación W2

El gráfico (d) de la Figura N° 19 muestra que el factor de ponderación w_2 es mucho más errático que el factor w_1 . Este factor depende de la densidad poblacional (UD) de Yurimaguas y varía entre 0.22 y 0.41. El comportamiento de la variación de w_2 es casi-simétrica e inversa la variación de la densidad poblacional. Se pueden distinguir un gran incremento en el periodo 1992-1997 (+0.19), un descenso entre 1997-2002 y 2002-2007 (-0.05 y -0.08), un incremento leve entre 2007-2012 (+0.05), y luego una disminución progresiva entre 2012-2017 y 2017-2022 (-0.001 y -0.09). Siendo esta última la mayor disminución de los últimos 30 años. El valor de w_2 en 2022 (0.24), es el más cercano al valor de 1992 (0.22).

4.5.6. Proliferación Urbana Ponderada (WUP)

La métrica Proliferación Urbana Ponderada (WUP) reúne a las tres dimensiones: cantidad de área edificada (AUT), configuración espacial de esta (DIS) y utilización del suelo (UD). Esta unión se da mediante un producto ponderado entre la métrica UP y los factores de ponderación w_1 (dependiente de DIS), y w_2 que depende de UD. El ver gráfico (a) de la Figura N° 19 que representa a la métrica Proliferación Urbana Ponderada (WUP) muestra dos fases de incremento y caída, pero que finalmente los incrementos sobrepasarían a la caídas lo que haría que la métrica se incremente de manera global en todo el tiempo de análisis, como si fueran dos gradas para subir.

Si se analiza por periodo, obteniendo las variaciones de los valores de WUP relativos al año inmediato anterior de análisis (ver filas de variación(Δ) en Tabla 17 y Figura N° 24.a), entonces se tiene lo siguiente: Entre 1992-1997 se da un aumento (+0.52 UPU/m²) marcado comparado con las demás. Luego se presenta un incremento poco notorio (+0.02 UPU/m²) entre 1997-2002, e inmediatamente un descenso 2002-2007(-0.08 UPU/m²) hasta llegar incluso a un valor de WUP en 2007 menor al WUP de 1997. Sin embargo, a partir del año 2007, comienza a crecer nuevamente de forma marcada: 2007-2012 (+0.41 UPU/m²), 2012-2017 (+0.29 UPU/m²). Por último, entre 2017-2022 se presenta un descenso marcado (-0.20 UPU/m²).

Por lo tanto, en la figura de Proliferación Urbana Ponderada (WUP) (ver Figura N° 24.a), se observan cuatro procesos de grado de crecimiento urbano disperso: 1) Un gran incremento entre 1992-1997. La estructura espacial de la ciudad de Yurimaguas experimenta un mayor grado de crecimiento disperso; 2) un cese del aumento y pequeña disminución entre 1997-2007 del grado de crecimiento urbano. La ciudad es cada vez menos dispersa hasta llegar el 2007. Luego, 3) un segundo incremento marcado entre 2007-2017 de grado de crecimiento urbano disperso. El 2007 inicia un proceso de aumento por 10 años, teniendo el año 2017 su mayor valor en los últimos 30 años. Recordemos que también en 2007 es donde se inicia también el incremento en los valores de Permeabilidad Urbana y Ganancia Urbana, durante el inicio de la ejecución de proyectos de infraestructura de IIRSA; Y por último 4) un proceso de decrecimiento leve del grado de crecimiento urbano disperso entre 2017-2022.

Si tenemos el periodo 1997-2002, como punto de control donde el incremento del grado de crecimiento urbano disperso ha sido casi nulo (recordemos que entre 1997-2002 es el año de menor Ganancia Urbana). Se enfatiza que la estructura espacial cambia de un proceso de cese y disminución (1997-2007) a uno de incrementos continuos, aunque cada vez menor conforme avanza el tiempo, del grado de crecimiento urbano disperso (2007-2017) en los periodos de ejecución de proyectos de infraestructura. Y, por último, se presenta una caída (2017-2022), cuando ya no se ejecuta ningún proyecto y el corredor está un funcionamiento parcial. Sin embargo, la caída no llega a valores de WUP en 2012, es decir, en 2022 el grado de crecimiento urbano disperso es aún mayor al nivel anterior a la ejecución de proyectos. El corredor de infraestructura de gran escala está en funcionamiento, aunque de forma parcial e incompleta todavía.

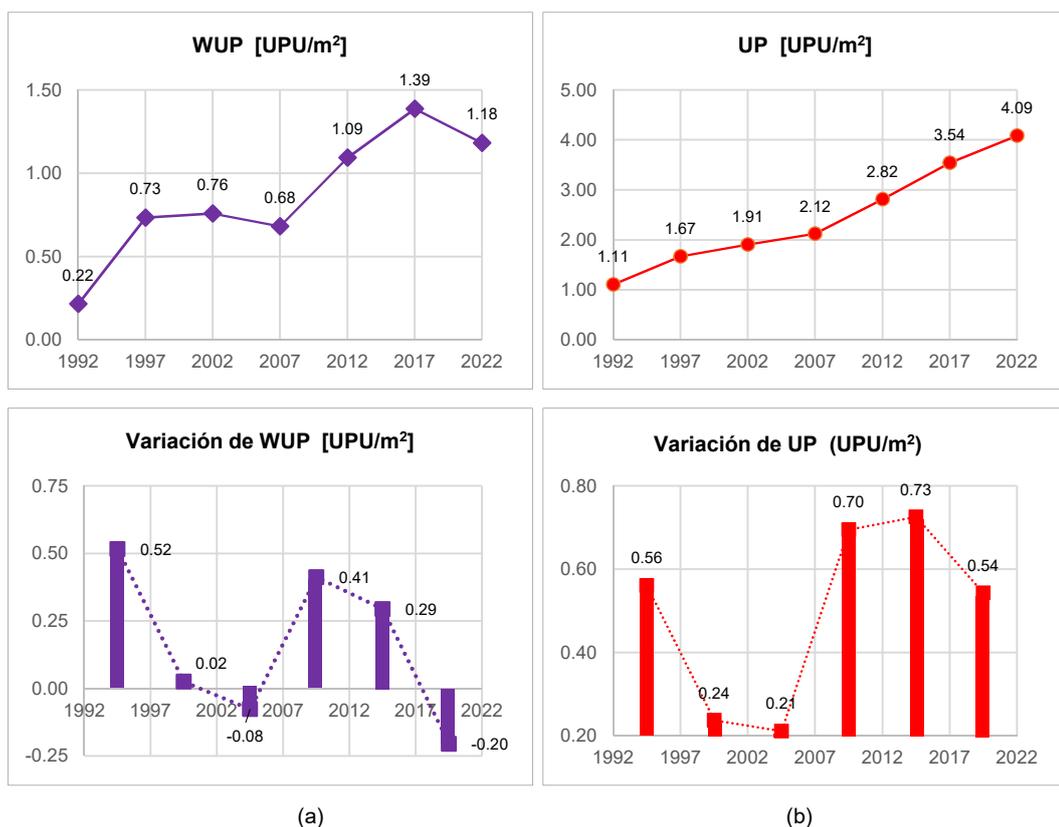


Figura N° 24. Comparación de los gráficos de Variación de las métrica Proliferación Urbana Ponderada -WUP (a) y Permeabilidad Urbana -UP (b) de la ciudad de Yurimaguas por quinquenio entre 1992-20022

Elaboración propia.

Si comparamos las variaciones de las dos métricas que podrían representar el aumento del grado de crecimiento urbano disperso de acuerdo a la literatura: 1) Proliferación Urbana Ponderada (WUP) y 2) Permeabilidad Urbana (UP). En la Figura N° 24.b, se observa que tienen comportamientos parecidos. Sin embargo, la intensidad de los procesos reflejada en la métrica es diferente. Para la variación de WUP el periodo de mayor aumento del grado de crecimiento urbano disperso en Yurimaguas es 2007-2012, en cambio, para la variación de UP es el periodo 2012-2017. La variación de la métrica UP le asigna una mayor importancia al proceso de aumento del grado de crecimiento urbano disperso entre 2007-2017. En cambio, WUP, si bien representa este periodo como un aumento, es un aumento que desacelera (2012-2017) y pronto se convierte en caída (2017-2022). UP representa apenas esta desaceleración en el último periodo (2017-2022) y no presenta caída alguna (todos los valores de variación son positivos). Lo que UP interpreta como un aumento del grado de crecimiento urbano disperso (periodo 2017-2022), contrariamente WUP lo está interpretando como una disminución del grado de crecimiento urbano disperso. La métrica WUP depende directamente de los valores de UP, y los factores w_1 y w_2 . Si observamos los gráficos (b), (c) y (d) nos damos cuenta que todos son crecientes excepto el factor de ponderación w_2 . Este es el factor que hace que WUP decrezca en el periodo 2017-2022, pues tiene el segundo menor valor de w_2 de los últimos 30 años en 2022. El factor de ponderación w_2 depende de los valores de densidad poblacional (UD) y también de la función de ponderación w_2 (ver acápite 472.2.8.1). Por lo que es esta última la que está definiendo la magnitud de la caída, recordemos que la función w_2 es exponencial.

4.6. Procesos de crecimiento urbano de Yurimaguas (1992-2022)

A partir de las descripciones del análisis I y II antes mencionados, en este acápite se presenta un resumen de los cambios de patrones a modo de procesos. Un proceso es un patrón recurrente en el tiempo. Observando los gráficos de la Figura N° 25, se pueden diferenciar tres procesos diferentes para la ciudad de Yurimaguas en los últimos 30 años: 1) Un proceso de crecimiento urbano disperso de ciclo concluyente (1992-1997); 2) un proceso de crecimiento urbano compacto en espera (1997-2007); y 3) proceso de crecimiento urbano disperso identificado de 2007-2022. Como se mencionó anteriormente, 1992-1997 se entiende como parte del ciclo del petróleo. Lo que ocurren entre 1997-1992 es un periodo de

espera entre ciclos, y a partir del 2007 comienza evidenciarse los efectos sinérgicos del ciclo de IIRSA.

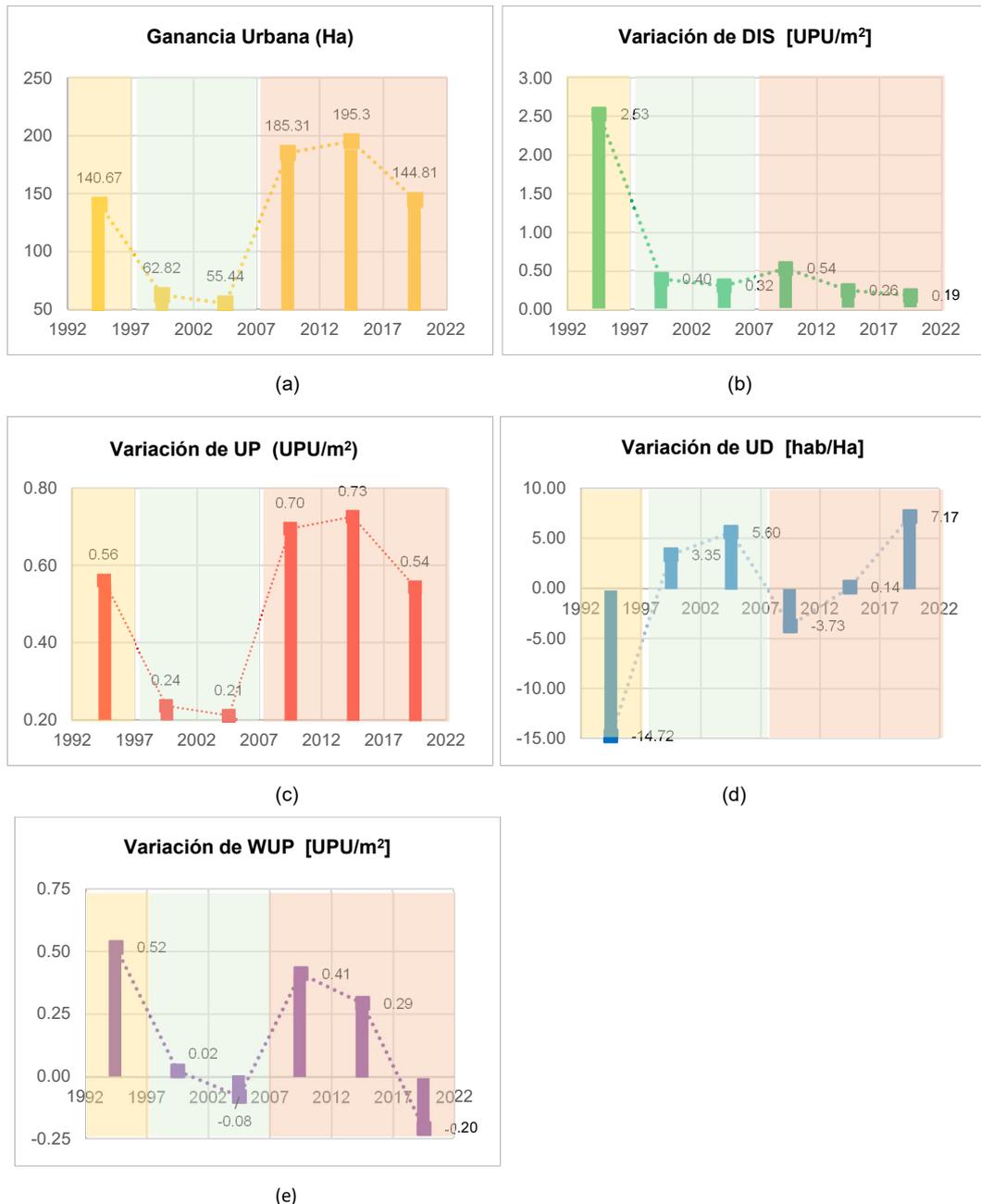


Figura N° 25. Gráficas de los cambios en la ciudad de Yurimaguas a través de las métricas AUT, DIS, UP, UD y WUP: a) variación del Área Total Urbana (denominada Ganancia Urbana); b) variación del grado de dispersión (DIS); c) variación de la Permeabilidad Urbana (UP); d) Variación de la densidad poblacional (UD); y Proliferación Urbana Ponderada (WUP).

Nota: Se han resaltado tres procesos de crecimiento urbano diferentes, de izquierda a derecha: fin de ciclo del petróleo (naranja), espera (verde), crecimiento disperso (rojo) en el ciclo de IIRSA. Elaboración propia.

4.6.1.1. Crecimiento urbano disperso de ciclo concluyente (1992-1997)

Este proceso crecimiento urbano de 1992-1997 presenta un incremento área construida (Ver gráfica de Ganancia Urbana), una configuración espacial más dispersa (Ver gráfica de DIS) y también un mayor grado de infiltración urbana (ver variación de UP) y un incremento en el grado de crecimiento urbano disperso (urban sprawl) (ver gráfico de variación de WUP). Sin embargo, aunque se trate de un proceso de crecimiento disperso semejante al del proceso 2007-2022, los valores en las métricas son menores, como si este proceso fuera de menor intensidad o estuviera terminando. O talvez estos valores menores se deba a que la ciudad de Yurimaguas era por entonces más pequeña.

4.6.1.2. Crecimiento urbano compacto en espera (1997-2007)

Este proceso (1997-2007) se caracteriza por tener bajos valores de incremento de área construida (ver Ganancia urbana), una configuración espacial menos dispersa (ver variación de UP), y un incremento de la utilización del área construida (Ver densidad poblacional- UD). Es decir, es todo lo contrario a la definición de Jaeger. De acuerdo a la definición de Jaeger y Schwick (2014), debe haber 3 tendencias en 3 dimensiones diferentes para considerarse un crecimiento urbano disperso relativo: “[...] *mientras mayor sea el área edificada en cierto paisaje (la cantidad de superficie construida), más dispersa sea esta área edificada en el paisaje (configuración espacial), y más alta sea el área edificada por habitante o trabajo (menor intensidad de utilización de la superficie construida); mayor el grado de crecimiento urbano disperso*”.

Por lo que, este proceso se caracteriza por ser menos disperso que los otros dos (más compacto), también es particular a este proceso un aumento de forma irregular de la ciudad.

4.6.1.3. Crecimiento Urbano Disperso (Urban Sprawl) en Yurimaguas (2007-2022)

Los gráficos de la Figura N° 25 muestra que a partir de 2007 la ciudad de Yurimaguas presenta una mayor área construida (Ver Ganancia Urbana), una configuración espacial más dispersa (Ver incrementos de DIS y UP) y una menor intensidad de utilización del área construida (Ver variación de UD 2007-2017). Por lo tanto, de acuerdo a la métrica WUP de Jaeger y Schwick (2014), a partir de

2007 hasta el 2017, Yurimaguas presenta un mayor grado de crecimiento urbano disperso. Recordar que 2006 es el año en el que comienza la ejecución de proyectos de infraestructura de gran escala de IIRSA-Eje Amazonas en el territorio de Yurimaguas. Este es un proceso que se mantiene en el tiempo para la métrica variación de UP. Por otro lado, lo ocurrido en el periodo 2017-2022 es un poco diferente en la densidad poblacional, pues contrario a disminuir esta se incrementa de forma súbita y esto luego se refleja en WUP como una disminución del grado de crecimiento urbano disperso. Esto deberá ser objeto de discusión (ver cap. V).

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este acápite se presenta una discusión de los resultados del monitoreo de crecimiento urbano de Yurimaguas entre 1992-2022. Se contrasta, y sintetiza los hallazgos del capítulo IV con la literatura revisada en el capítulo II.

5.1. Ciclos económicos y crecimiento urbano

El PDU Yurimaguas 2015-2025 no identifica a IIRSA como un ciclo económico propiamente dicho (MVCS y MPAA, 2015, p. 30); y caracteriza la ocupación después del 2000 como una prolongación del ciclo del petróleo y agro. Otros documentos como el ZEE Alto Amazonas (2013) refieren que IIRSA es realmente un ciclo diferente por sus cambios en las estructuras económicas y sociales, además advierte una segunda ola de crecimiento cuando se dinamice el tráfico de mercancía con Brasil, es decir, cuando se intensifique el comercio internacional, y con él la globalización en la Amazonía. En esta investigación se ha mostrado el nivel de inversión en infraestructura del corredor de IIRSA y las inversiones en infraestructura de otro tipo que atrae en cadena (ver acápite 3.4). Asimismo, en los cambios en los patrones urbanos de Yurimaguas, se ha encontrado que a partir del 2007 sucedió una intensificación en estos cambios que no estaba presente entre 1997-2007, lo que podría ser evidencia empírica para caracterizar el ciclo económico de IIRSA (ver cap. 4). Se requieren más estudios de los procesos económicos, sociales y ambientales para tener una imagen completa del ciclo de IIRSA en la Amazonía peruana y así poder proponer medidas para el beneficio de la población local.

El cambio de cobertura de suelo y el crecimiento económico se han relacionado en la investigación de He et al (2014) a través de una ecuación estructural en ciudades de China. He et al (2014) han encontrado que el crecimiento económico provocó cambios de cobertura de suelo. Adicionalmente, que la relación no es unidireccional, sino que “el suelo se ha usado exitosamente como herramienta para atraer inversión extranjera y sostener la inversión en infraestructura, y así indirectamente provocar crecimiento económico “. A partir de ello, se puede notar

como la administración del suelo es clave dentro de un escenario de crecimiento económico para una región.

La revisión documental de los cambios en la ciudad de Yurimaguas ha mostrado, que en los ciclos económicos hubo consolidación administrativa, construcción de equipamiento público e infraestructura de transporte y servicios básicos, como parte del crecimiento espacial de la ciudad. Asimismo, se dio migración de personas en busca de oportunidades laborales. Ahora bien, las causas que producen crecimiento urbano -tanto del tipo compacto como el disperso- listadas por Bhatta (2010), entre otras son: crecimiento de la población y crecimiento económico. Ambas se encuentran presentes en la ciudad de Yurimaguas actualmente (ver acápite 4.5.2 y 3.4). Se requeriría otros estudios enfocados en la correlación de cambio de cobertura de suelo al crecimiento económico en Yurimaguas para confirmar la causa principal de su crecimiento urbano. Por otra parte, hay evidencias de que estos periodos de crecimiento económico (ciclos de auge y caída) han representado para Yurimaguas, migración de personas (crecimiento poblacional) y aumento de construcciones con anterioridad. Asimismo, la detección de cambios de cobertura de suelo urbano en Yurimaguas entre 1992-2022 realizada en esta investigación sugiere un crecimiento acumulativo de la ciudad en el tiempo durante el ciclo de IIRSA, a medida que se va desarrollando el corredor multimodal de IIRSA-Eje Amazonas. Entonces, aunque no esté confirmado que el crecimiento económico sea el factor principal, es uno muy importante.

Por otro lado, casos de ciudades fluviales que han tenido un crecimiento urbano como resultado de los ciclos económicos y procesos de urbanización en Perú son las ciudades de Iquitos y Pucallpa. Iquitos y Pucallpa tuvieron tasas de crecimiento poblacional muy altos: Iquitos con 5.1 % y Pucallpa con 5.2 % durante el ciclo del petróleo (San Roman, 1994). El caso de Iquitos es útil como lección aprendida. Ciclos de inversión, sumado a una ubicación estratégica consolidan a la ciudad más grande de la Amazonía peruana en un periodo muy corto. Las primeras explotaciones de caucho estuvieron cerca de Iquitos, y los servicios de soporte a la explotación petrolera se instalaron en dicha ciudad. Además, en el caso de Iquitos se produjo un crecimiento urbano disperso (urban sprawl), en la década del 70 se formaron en Iquitos 36 asentamientos humanos y con 87% de la

población vivía en la periferia de la ciudad, frutos de las “invasiones”. Para el censo de 1993 se encontraron 119 de estos “pueblos jóvenes”. El caso de Pucallpa, que a pesar de ser un puerto fluvial muy importante (ubicación estratégica), su periodo de mayor crecimiento urbano se dio por la construcción de carretera Lima-Pucallpa en 1943, al convertirse en un polo de la manufactura luego en el ciclo petrolero. Lo que dio un fenómeno de urbanización proveniente de la sierra central y ceja de selva. Incluso, con luchas sociales, en 1980 lograron desagregarse del departamento de Loreto, para convertirse en el nuevo departamento de Ucayali, con su capital Pucallpa. Es decir, un puerto fluvial sumado a una conexión terrestre, posibilitaron una gran migración y la consolidación de Pucallpa como una metrópoli regional, otra vez el crecimiento urbano fue súbito del tipo disperso con proliferación de asentamientos humanos en la periferia (San Roman, 1994, págs. 231-242; INDECONSULT, 2009).

Yurimaguas tiene hoy las características de los casos de Iquitos y Pucallpa antes mencionados: Yurimaguas registra una tasa alta de crecimiento poblacional (4.6% anual en el último periodo intercensal 2007-2017), se está dando un ciclo de inversión (ciclo de IIRSA), Yurimaguas está en un punto estratégico (puerto fluvial), y la conexión de la ciudad al sistema nacional por vía terrestre está hecha. Adicionalmente, hay un aumento del grado de crecimiento urbano disperso, un creciente número de asentamientos humanos en la periferia. Al 2015 existían 63 asentamientos humanos ocupados por procesos de invasión. Estas invasiones se han producido más frecuentemente en áreas cercanas al río Parapapura y a la carretera IIRSA que se dirige al nuevo puerto internacional (MVCS y MPAA, 2015).

5.2. Especulación y crecimiento urbano disperso en Yurimaguas

Si anteriores ciclos económicos en la Amazonía produjeron crecimiento urbano en la ciudad de Yurimaguas por ser un centro de intercambio, recepción de los productos y de provisión de servicios, en el ciclo de IIRSA tiene, además de lo anterior, una desventaja mayor: la ubicación. Si bien la extracción de los recursos se realizaba en la Amazonía peruana, el lugar del manejo y explotación de los recursos estaba alejado de las ciudades. Se custodiaba y valorizaba entonces los bosques amazónicos para la búsqueda de la goma (ciclo del caucho) y los cultivos de barbasco (ciclo de barbasco), se hicieron tareas de búsqueda de pozos de petróleo (ciclo del petróleo). Sin embargo, en el ciclo de IIRSA uno de los recursos

principales que se busca y consume es el suelo: suelo para albergar infraestructura, suelo para proveer de servicios del nodo logístico, suelo para un crecimiento apropiado de la ciudad, suelo para mantener el equilibrio con el ambiente: el comportamiento sinuoso de los ríos y ecología de los bosques amazónicos, entre otros. El suelo es un recurso limitado por lo que es necesario administrarlo de forma eficiente. Asimismo, la incorrecta administración del suelo provocaría riesgos para el corredor interoceánico de IIRSA. Por ejemplo, un crecimiento urbano disperso cercano a las vías del corredor de gran escala no permitiría la velocidad de transporte diseñada y provocaría un replanteo hacia una vía de evitamiento, el crecimiento urbano disperso incontrolado volvería a asentarse, haciendo un ciclo perjudicial para ambos: el corredor y la ciudad.

En el marco de una apropiada administración del suelo urbano, el crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*) es una utilización ineficiente del suelo urbano. De hecho, “la mayoría de países latinoamericanos está enfrentado a una crisis de regulación del suelo en paralelo con una crisis del planeamiento de ciudades que inició a finales de 1970” (Lungo, 2001). Siendo así un tema complejo que requiere esfuerzos de investigación.

Adicionalmente, causas que pueden producir el crecimiento urbano disperso recopiladas por Bhatta (2010) también se encuentran en Yurimaguas y en mayor medida, por ejemplo, menciona: la especulación, expectativa de revalorización del suelo, actitud de demanda de terrenos, falta de vivienda accesible, falta de políticas apropiadas para la planificación de las ciudades. Por lo que, no solo el ciclo de inversión en infraestructura está causando el crecimiento urbano disperso, sino también el contexto en el que encuentra a la ciudad de Yurimaguas.

Varios instrumentos de gestión urbana se han formulado para Yurimaguas en su historia reciente: Plan Director de Yurimaguas 1985 (INADUR, 1985); Plan Operativo Urbano de Yurimaguas 2000 (IDESUNI, 2001) y -el más reciente- Plan de Desarrollo Urbano de Yurimaguas 2015-2025 (MVCS y MPAA, 2015). A pesar de contar con 03 instrumentos de gestión urbana se evidencia una aplicación limitada de estos en el desenvolvimiento de la ciudad, lo cual ha promovido un crecimiento urbano no planificado, especulativo, y en muchos casos ilegal

(invasiones de terreno) (MVCS y MPAA, 2015, p. 112; P. Vilca, comunicación personal, 24 de Mayo, 2022).

El PDU Yurimaguas 2015-2025 advirtió en 2015 la posibilidad de especulación inmobiliaria sobre el soporte de tres argumentos: [1] diversas trayectorias de crecimiento urbano; [2] baja densidad en la ocupación; y [3] superávit de estructuras residenciales, es decir, existían más lotes que familias en Yurimaguas. En el trabajo de campo de 2015, el PDU registró que existían 20,404 lotes y se estimó la existencia de 15,545 familias, dando un excedente de 4,859 unidades de residencia (MVCS y MPAA, 2015). Así que, la especulación inmobiliaria podría ser una realidad también en la actualidad. Una de las características del crecimiento urbano espacial entre los años 2000-2015 es una disminución sustancial de los tamaños de manzana y lotes (Ver trama 4 en Figura N° 26). Esta atomización de los predios se da dentro de igualmente pequeños asentamientos humanos (ver Figura N° 27). Muchos de ellos frutos de invasión de terrenos. Por último, esta atomización del espacio es también característica de deficiente asesoría técnica y especulación del mercado.

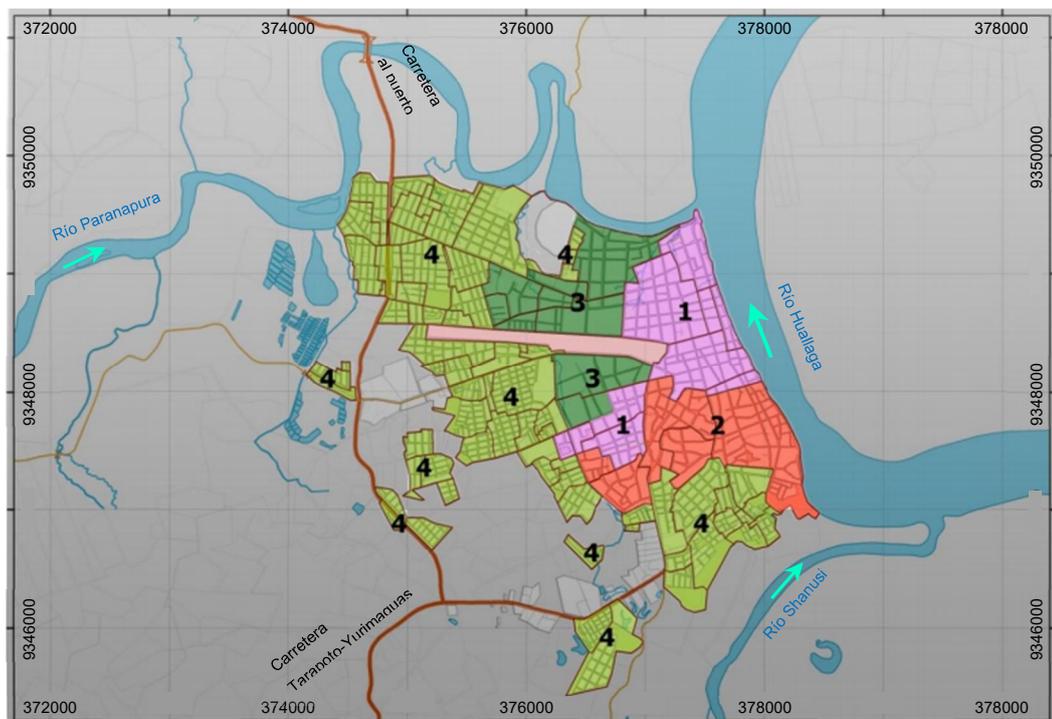


Figura N° 26. Diferentes tramas urbanas en la ciudad de Yurimaguas detectadas al 2015.

Fuente: (MVCS y MPAA, 2015)

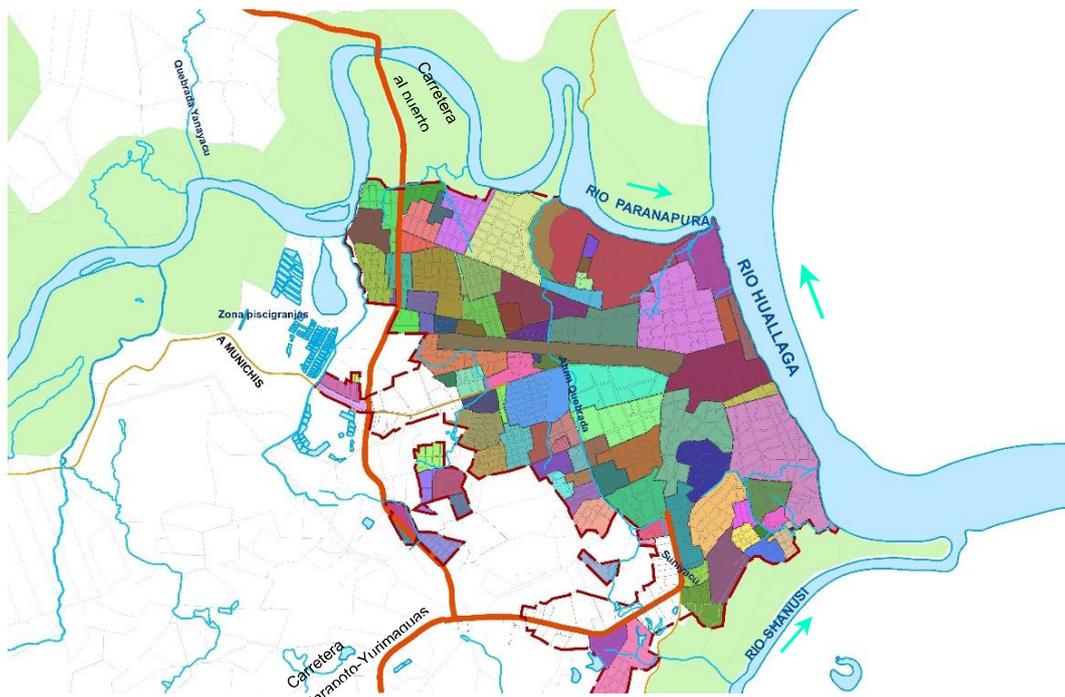


Figura N° 27. Asentamientos poblacionales en la ciudad de Yurimaguas al 2015.

Nota: En color verde olivo se muestra los remanentes naturales de los ríos Paranapura y Shanusi. Los demás colores representan los asentamientos poblacionales de la ciudad de Yurimaguas al 2015. Nótese la cantidad y variedad de tamaños.

Fuente: (MVCS y MPAA, 2015)

Por otro lado, un estudio del crecimiento urbano de las 43 ciudades del Perú, con población mayor a 50,000 habitantes, realizado por Espinoza y Fort (2020) indica que Yurimaguas es la segunda ciudad que más ha crecido espacialmente entre los años 2000-2018 con un porcentaje de 103% de nuevo suelo urbano. Es decir, en menos de 20 años se ha duplicado el suelo destinado a uso urbano. Además, el estudio indica que este nuevo suelo urbano en Yurimaguas, se presenta de dos tipos: Más de 60% se trata de Tipo I: Ocupación ilegal, y el porcentaje restante es de Tipo II: Lotización informal (ver Figura N° 28). La ocupación ilegal no cuenta con servicios ni infraestructura, calles estrechas, trazado irregular, lotes no alineados, sin derechos de propiedad y habitualmente son promovidas por un traficante de terrenos o dirigentes locales que cobran por la organización y gestión de la ocupación, mientras que la lotización informal aunque tampoco presenta servicios ni infraestructura (o algunas veces de forma parcial); su trazado es regular y presenta lotes alineados, derechos de propiedad (o parciales), y en este caso el promotor es un “dueño o poseionario de tierras (en su mayoría agrícola), o empresas inmobiliarias informales, ambos lotizan el terreno de la cual tienen propiedad y hacen inversiones mínimas en calles para luego comercializarlo

(Espinoza y Fort, 2020). Además, muchas de las invasiones en Yurimaguas se hicieron sobre terrenos municipales (MVCS y MPAA, 2015).



Figura N° 28. Tipología de Ocupaciones de suelo urbano en el Perú.

Fuente: (Espinoza y Fort, 2020)

Por lo tanto, Yurimaguas presentaba al 2015 un crecimiento urbano sin planificación ni control, ilegal y especulativo según el PDU 2015. Al 2018 el estudio de Espinoza y Fort (2020), confirma que el proceso de incremento de oferta de lotes sigue una tendencia al alza para Yurimaguas, mayormente el nuevo suelo se adquiere por ocupación ilegal. Adicionalmente, la presente investigación, por su parte, con base en un monitoreo de crecimiento urbano usando imágenes satelitales y métricas espaciales confirma que la ciudad de Yurimaguas está experimentando un proceso de aumento del grado de crecimiento urbano disperso (urban sprawl). Es más, este crecimiento se está dando fuera de las zonas destinadas para ello por el Plan de Desarrollo Urbano 2015-2025. En la lámina 7 se puede observar que áreas de crecimiento urbano ocupadas entre 2012-2017 y 2017-2022 se encuentran sobre zonas destinadas para fines agrícolas y de protección ambiental y ecológica por la propuesta de Clasificación General del Suelo que es parte del Plan de Desarrollo Urbano de Yurimaguas 2015-2025.



Fuente: Google Earth. Fecha de imagen: 11 Oct 2023



Fuente: Google Earth. Fecha de imagen: 11 Oct 2023



Fuente: Arturo Turpo. Fecha de imagen: 08 Set 2022



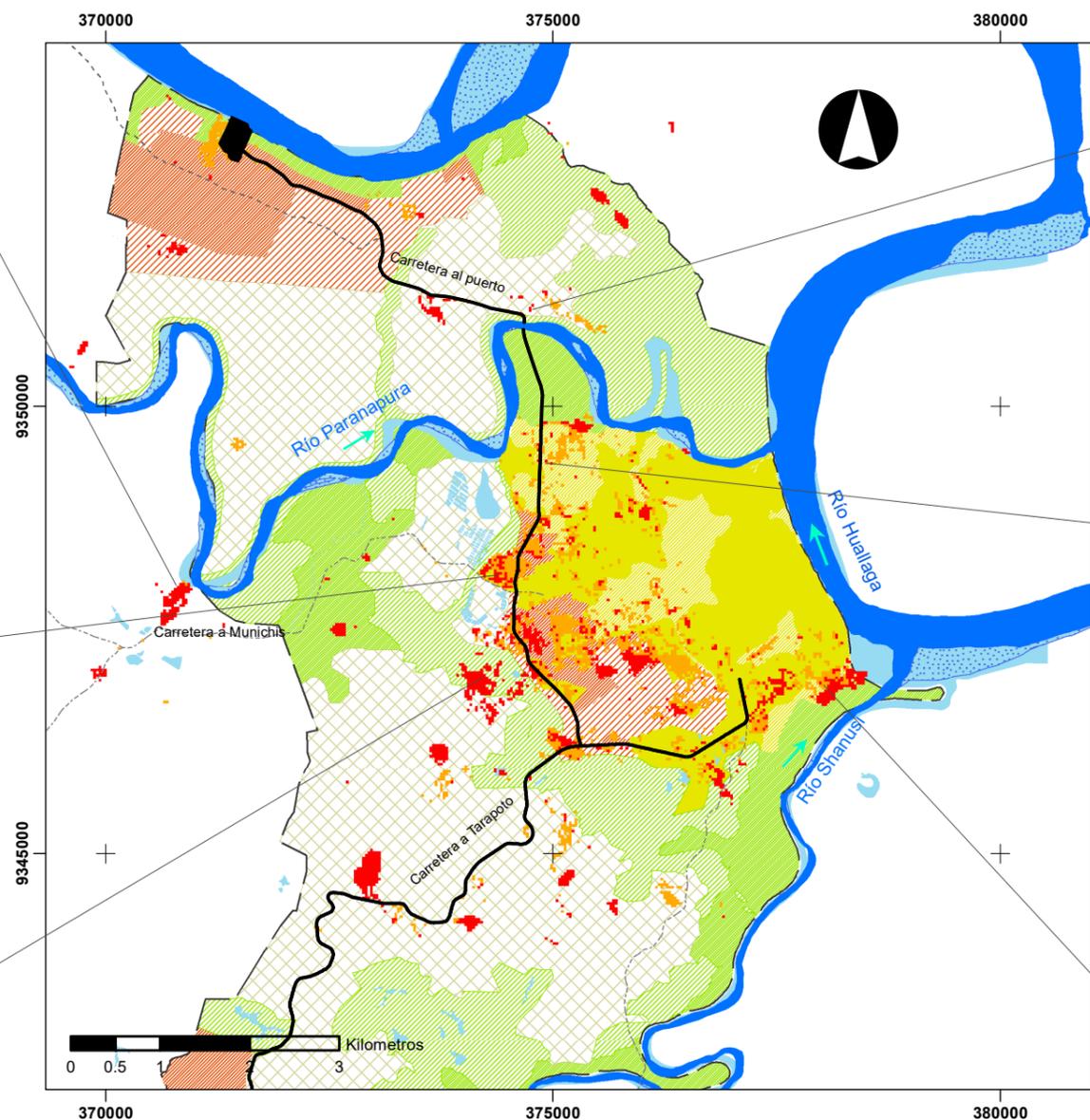
Fuente: Arturo Turpo. Fecha de imagen: 08 Set 2022



Fuente: Arturo Turpo. Fecha de imagen: 08 Set 2022



Fuente: Google Earth. Fecha de imagen: 11 Oct 2023



Nota: Obsérvese que algunas áreas de crecimiento urbano detectadas entre 2012-2017 y 2017-2022 se encuentran sobre zonas destinadas para otros fines según la propuesta Clasificación General del Suelo del Plan de Desarrollo Urbano de Yurimaguas 2015-2025.
Escala 1:75,000

Leyenda

- Terminal Portuario*
- Red vial nacional
- Red vial departamental
- Red Vecinal

Nota: (*) Terminal Portuario Yurimaguas - Nueva Reforma

- Playas e islas fluviales
- Ríos Navegables
- Crec. Urbano 2012-2017
- Crec. Urbano 2017-2022

Clasificación General del Suelo propuesta por PDU 2015-2025

- Área apta para su consolidación
- Área con restricciones para su consolidación
- Área de expansión urbana inmediata
- Área de reserva urbana
- Área de protección ambiental
- Zona de Protección Ecológica
- Área agrícola
- Ámbito de Estudio PDU 2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		
Tesis de grado: "Monitoreo de crecimiento urbano durante el desarrollo de infraestructura de gran escala en la Amazonía peruana. El caso de Yurimaguas"		
Título: LAMINA 8. COMPARACIÓN DE CRECIMIENTO URBANO DE YURIMAGUAS (2012 - 2022) FRENTE A PDU 2015-2025		
Proyección:	WGS84 UTM 18S	Escala:
		1:75,000
Elaboración:	Arturo Rogger Turpo Barrios	Fuente:
		Elaboración propia y PDU Yurimaguas 2015-2025.
		L-08

Por último, el proceso de crecimiento urbano disperso de Yurimaguas de los últimos años es acumulativo en el tiempo y se intensifica durante la ejecución de proyectos de infraestructura. A puertas de la consolidación de un proyecto integral de agua y desagüe para toda la ciudad de Yurimaguas, es propicio advertir que deben tomarse medidas frente al crecimiento urbano disperso, en sus diversas trayectorias, antes de la formalización de los asentamientos humanos existentes para la provisión de servicios. De otro modo, se estaría promoviendo, en Yurimaguas, esta forma de crecimiento urbano no planificado, ilegal, especulativo y disperso en el espacio.

5.3. Efectos de la Infraestructura en el territorio. El caso de Yurimaguas

Los hallazgos encontrados en esta investigación pueden servir de evidencia empírica para reforzar la premisa propuesta por Cristaldo y Silvero (2013): “una obra de infraestructura de gran porte actúa como catalizador (agente que acelera una reacción) de un proceso multidimensional”. En el caso de estudio de esta investigación se ha notado que los periodos de ejecución de proyectos de gran escala coinciden con incrementos de superficie de área urbana e incremento del grado de crecimiento urbano disperso. Aunque el crecimiento urbano es en sí mismo, un fenómeno multidimensional, existen otras reacciones catalizadas en otras variables que podrían explorarse para Yurimaguas en diferentes investigaciones como, por ejemplo, la estructura económica-productiva, deforestación, entre otros. Dichas investigaciones también se pueden usar para poner a prueba a la premisa de Cristaldo y Silvero (2013), y darle mayor base empírica.

Por otro lado, dentro de la evaluación ambiental, se ha encontrado algunos hallazgos sobre los instrumentos existentes para el caso de estudio. La “Evaluación Ambiental y Social con carácter Estratégico del área de influencia del Plan Hidroviario Comercial Peruano” (EASCE) previó en 2014 un posible incremento de la ocupación informal de territorios y la expansión de las ciudades y vías de acceso, y propuso medidas para mitigar estas alteraciones, entre otras: la elaboración de planes territoriales y fortalecimiento de capacidades institucionales. Para Yurimaguas, los planes de desarrollo urbano y acondicionamiento territorial se formularon en 2015. Sin embargo, contar con un plan no fue suficiente para mitigar las alteraciones y garantizar el manejo eficiente

del suelo urbano. Básicamente, porque la implementación del plan urbano fue muy limitada. Encontrar las razones de la baja implementación del plan o incluso si la implementación se dio y los resultados de las propuestas no fueron los esperados serían materia de otra de investigación. Sin embargo, lo que se quiere enfatizar es que no se debe ver como solución definitiva para mitigar el crecimiento urbano disperso en nuestras ciudades a la sola formulación de planes territoriales. El incremento de capacidades en la institución que fiscalizará el uso del suelo es un factor crítico también. De igual manera, lo manifiesta Redwood (2012) en las lecciones aprendidas sobre la evaluación ambiental y social de IIRSA Norte y la interoceánica IIRSA Sur que realizó por encargo del Banco Interamericano de Desarrollo.

Por su parte, esta investigación encuentra en el monitoreo de crecimiento urbano una herramienta más directa para proveer información a los tomadores de decisión. Y deberían ser parte de las medidas propuestas en las políticas públicas de inversión en infraestructura. Si los monitoreos de crecimiento urbano se dieran de forma regular se podrían dar cuenta cuando las tendencias de crecimiento urbano disperso continúan o también para evaluar si se están tomando medidas sobre este o no, o si estas medidas funcionan o no. Así, también se podrían proponer metas en cuanto a indicadores usando métricas espaciales, por ejemplo, proponerse un crecimiento urbano en términos de hectáreas de superficie y no excederlas en determinado periodo, o en cuanto a la dispersión de estas, o en la densidad poblacional (Jaeger y Schwick, 2014). Sin embargo, aunque el monitoreo de crecimiento urbano sea una herramienta más directa, también está limitado a proporcionar información. Las acciones de regulación y manejo de suelo urbano puestas en práctica por los tomadores de decisión serán las que hagan la diferencia en el territorio.

5.4. Desarrollo de infraestructura de transporte de gran escala y crecimiento urbano disperso (urban sprawl)

Existe evidencia empírica de que el desarrollo de infraestructura de transporte causa crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*) en Europa. Garcia-López (2019) consiguió confirmar esta afirmación de forma rigurosa luego de analizar 579 ciudades europeas y el sistema antiguo de ferrovías y carreteras. Asimismo, hay algunos estudios que señalan que esto también puede ocurrir en países en

desarrollo, como Indonesia, por ejemplo (Pratama et al., 2022). Sin embargo, estudios sobre la causalidad entre el desarrollo de infraestructura de transporte y el crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*), con evidencia empírica como el que realizó Garcia-López (2019), no se han encontrado para un contexto latinoamericano, ni para Perú. Así que, en esta investigación, aunque hay diferencias entre los contextos de Europa y Latinoamérica, se ha optado por empezar con la premisa de que el desarrollo de la infraestructura de transporte causa crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*) como supuesto, basado en los resultados de Garcia-López (2019). Por lo tanto, esta investigación no se ocupa de probar esta relación causal en el Perú, sino que, con base en ella, se procede a investigar la manifestación en el espacio de una ciudad durante el periodo de desarrollo de infraestructura de gran escala (corredor multimodal IIRSA-Eje Amazonas), lo que aumenta la comprensión del tema.

Entre los hallazgos de esta investigación están las siguientes: Durante el desarrollo progresivo de la infraestructura de transporte de gran escala (corredor multimodal IIRSA-Eje Amazonas norte) se presenta en la ciudad de Yurimaguas un crecimiento de forma acumulativa en el tiempo. Esto es, en la medida que se va desarrollando el corredor por partes de forma progresiva, la superficie de cobertura urbana y el grado de crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*) de Yurimaguas van en aumento. Además, en periodos donde se ejecutan obras de los proyectos del corredor, el aumento de superficie de cobertura urbana y el incremento de grado de crecimiento urbano disperso muestran una intensificación. Asimismo, esta intensificación ocurre también a medida que el corredor entra en funcionamiento de manera incremental (ver acápites 4.4.2, 4.5.3). Por último, estas intensificaciones han sido reveladas a partir de métricas espaciales. La lectura de los gráficos de Ganancia Urbana y Variación de Permeabilidad Urbana muestran un comportamiento de ciclo de auge y caída marcado durante el cuarto ciclo económico de auge y caída que experimenta Yurimaguas (el ciclo de IIRSA).

Las investigaciones de Baum-Snow (2007) y Garcia-López (2019) tienen una escala de análisis a nivel regional. El primer caso analiza todas las ciudades de Estados Unidos, y el segundo estudia 579 ciudades de Europa. Así que, dicho esto, sería interesante tener un estudio de este tipo en Perú, comparando el desarrollo del sistema vial nacional de carreteras con el crecimiento urbano de las

ciudades conectadas a este, buscando una variable apropiada de la cual se pueda obtener datos. Más específico aún, se podría empezar con el corredor vial Paita-Yurimaguas, y las ciudades circundantes a este.

5.5. Cuantificación del cambio de cobertura urbana y mapa de cambio urbano en Yurimaguas

Los resultados de la cuantificación de cobertura urbana de esta investigación coinciden con los resultados de otros estudios, lo cual genera una mayor confianza en el procedimiento realizado. Por ejemplo, para 2002, el área urbana estimada por monitoreo es de 538.8Ha, el área urbana estimada por PDU 2001 es de 554.2 Ha (IDESUNI, 2001). Por lo que el área del monitoreo está dentro del mismo orden de magnitud, la variación se debe a que el área que delimita el PDU es una envolvente del área urbana, es decir, un poco mayor al área detectado por la cobertura de suelo urbana (ver Figura N° 29).

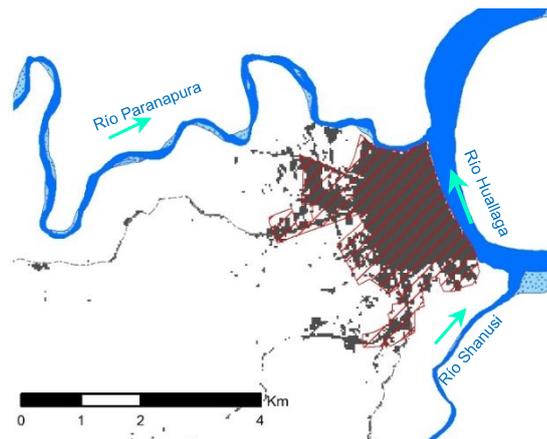


Figura N° 29. Comparación entre el área urbana detectada 2002 y la delimitada por el PDU 2001.

Nota: Resaltado en negro se encuentra el área de cobertura urbana detectada mediante sensores remotos y en polígono rojo rayado, la delimitada por el PDU Yurimaguas 2001, la cual es una envolvente. Elaboración propia.

Por otro lado, el área de crecimiento urbano entre 2002-2022 estimada asciende a 580.9 Ha, esto es, un aumento de nuevo suelo de 107.8% en dos décadas. Este orden de magnitud tan alto se encuentra acorde al estudio de Espinoza y Fort (2020), el cual situaba a Yurimaguas con 103% de crecimiento entre 2000-2018.

Asimismo, esta investigación hizo una estimación matemática sencilla del incremento de la cobertura urbana en un futuro cercano (2027 y 2032) bajo un escenario tendencial (ver acápite 4.4.1), y encontró que para el año 2027 la ciudad de Yurimaguas tendría 1286.01 Ha (166.32 Ha más que en 2022); y, para el año

2032 tendría 1477.04 Ha (357.35 Ha más que en 2022). El reto para el gobierno local actual en materia de gestión del territorio es definir acciones para que estas proyecciones no se cumplan, es decir, que la cantidad de nuevo suelo urbano para 2027 y 2032 resulte ser mucho menor. Como se explicó anteriormente, estamos ante un proceso ineficiente del uso de la tierra. Estas hectáreas no son necesarias para albergar a la cantidad de hogares de Yurimaguas. Se puede destinar menor cantidad de suelo a la ciudad. Además, de acuerdo el análisis con las métricas espaciales el crecimiento urbano disperso (WUP) es muy sensible a la cantidad de área urbana (AUT) (ver 4.5.3). Por lo que, el control del crecimiento urbano disperso depende de que estas áreas proyectadas matemáticamente resulten ser mucho menores en la realidad.

Por otro lado, el mapa de cambio que muestra el crecimiento urbano por quinquenio, guarda relación con un mapa de evolución físico-espacial elaborado por el PDU 2015. Este último se elaboró a partir del catastro de la ciudad de Yurimaguas, mientras que esta investigación usó imágenes satelitales de baja resolución y SIG, es decir, menor requisito de datos. Ciudades que no posean un catastro actualizado podría usar el monitoreo de crecimiento urbano descrito en esta investigación para obtener un esbozo de la evolución físico-espacial urbana a partir de datos accesibles globalmente.

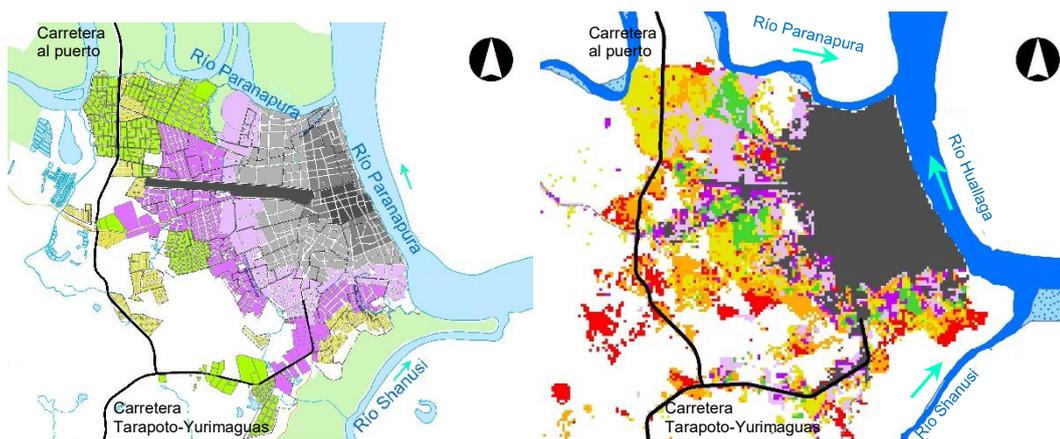


Figura N° 30. Evolución físico-espacial de Yurimaguas en diversos años: PDU 2015 (a) comparado con el monitoreo de crecimiento urbano de esta investigación (b).

Nota: Distingase por colores, en la figura [a]: Negro (1735-1935), Gris oscuro (1935-1966), Gris claro (1966-1985), Lila (1985-1997), Morado (1997-2001), Verde limón (2001-2011), Amarillo (2011-2014); en la figura [b] crecimiento urbano por quinquenio: lila (1992-1997), morado (1997-2002), verde (2002-2007), amarillo (2007-2012), naranja (2012-2017), rojo (2017-2022).

Fuente: (MVCS y MPAA, 2015), y elaboración propia.

Adicionalmente, las trayectorias halladas mediante el mapa de cambio urbano son cinco, es decir, en mayor número que las descritas por el PDU 2015 (tres). El PDU 2015 identificó tres trayectorias de crecimiento urbano: A) a lo largo de la carretera IIRSA hacia el puerto; B) a lo largo de la Av. Victor Sifuentes (salida del centro de Yurimaguas a Tarapoto) y la última trayectoria es C) de relleno entre las vías anteriores y la periferia de la ciudad (ver Figura N° 31.a). La diferencia radica en que el PDU utiliza un patrón para hacer la lectura, mientras en esta investigación se hacen a partir de la lectura de patrones en múltiples tiempos, es decir, a partir de un proceso. Lo cual es una ventaja para facilitar la lectura.

En efecto, entre 1992 y 2022, las trayectorias de crecimiento urbano de Yurimaguas señalan que, en general, las nuevas ocupaciones urbanas parecen ser atraídas por la infraestructura de transporte ya sea el corredor multimodal IIRSA-Eje Amazonas (que incluye el nuevo puerto), el aeropuerto CORPAC o la carretera Yurimaguas- Munichis. Asimismo, las zonas de frontera fluvial de los ríos Paranapura y Shanusi parece ser también otro atractor para las nuevas ocupaciones urbanas. Contrariamente, la pendiente del terreno no ha ejercido una función decisoria en el crecimiento urbano entre 1992-2022, el territorio presenta pendientes parecidas ya sea para zonas urbanas y zonas no urbanas.

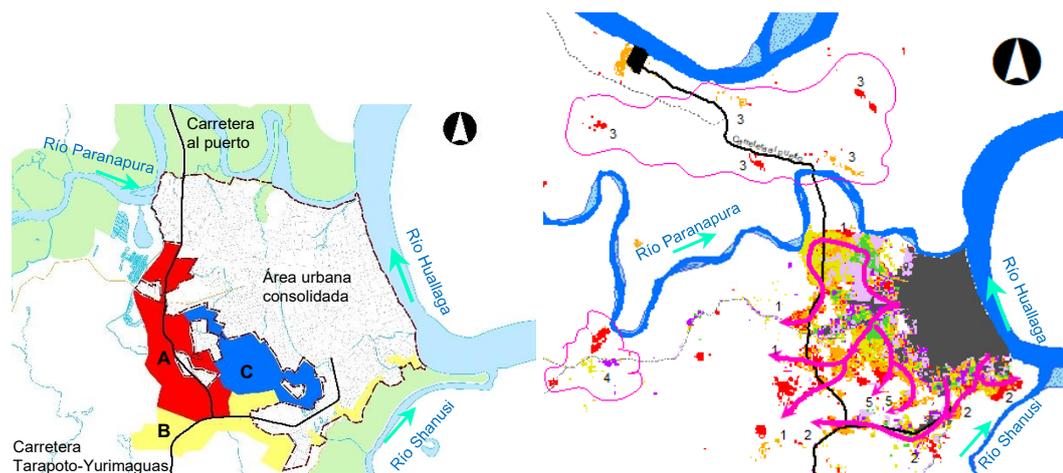


Figura N° 31. Comparación de trayectorias de crecimiento urbano en Yurimaguas. a) detectadas por el PDU 2015 (A, B, C); y, b) detectadas en esta investigación (1,2,3,4,5)

Fuente: (MVCS y MPAA, 2015), y elaboración propia

5.6. Cuantificación del grado de crecimiento urbano disperso (urban sprawl) en Yurimaguas

Shi et al (2023) mencionan que las métricas de paisaje, son apropiadas para medir el patrón espacial en una escala micro y conducir análisis comparativo en una escala de tiempo, pero no son apropiadas para análisis comparativos horizontales en una escala espacial. En esta investigación las métricas se usaron para comparar una misma ciudad en diferentes tiempos, entonces no sería apropiado usar estos valores de UP o WUP para compararlos con otra ciudad. En caso, se desee hacer ello, se debe tener las mismas áreas de reporte para todas las ciudades bajo análisis, y también las mismas correcciones para obtener los raster que representen las áreas edificadas (una misma definición), entonces se podría extraer las métricas de UP y WUP nuevamente y comparar estos nuevos valores para Yurimaguas con otras ciudades.

5.6.1. Definición de la cantidad de área edificada: Área Urbana Total (AUT)

La diferencia entre 'área edificada' y 'área urbana' es que el área edificada no incluye, las áreas de las calles y vía pública. El área urbana sí. Los autores de la métrica de Proliferación Urbana Ponderada (WUP) mencionan que se debe utilizar el área edificada para la medición de crecimiento urbano disperso. Sin embargo, en su artículo, Jaeger y Schwick (2014) utilizan también el área urbana en algunos lugares poblados argumentando, sobre el aparente error metodológico, que dentro de algunas ciudades era difícil diferenciar solamente los edificios y así "examinar su aporte individual". Entonces, menciona: "Para reducir la cantidad de datos requeridos, las construcciones en áreas de asentamientos cerrados no fueron tratados individualmente, sino que pueblos y villas fueron consideradas como individuos independientes en donde todos los tipos de ocupación de suelo se toman como uno: calles, plazas, cementerios. Fuera de las áreas individuales (pueblos y villas) solo construcciones individuales e infraestructura de transporte de gran área que contengan edificaciones (estaciones de ferrocarriles, aeropuertos) fueron considerados como elementos que crean crecimiento urbano disperso".

En la presente investigación la clasificación supervisada para obtener la clase urbana se hizo a partir de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 de baja resolución espacial (30m), por lo que la obtención de la firma espectral en las

zonas de entrenamiento también se tenía la dificultad para incluir solo áreas edificadas. Entonces, se tomó la sugerencia de Jaeger y Schwick (2014): se decidió tomar el área urbana en lugar de área edificada. Además, lo que se pretendía era medir el grado de crecimiento urbano disperso con una métrica espacial existente de manera exploratoria de modo que en un futuro se tenga una métrica que fuera replicable, y las imágenes satelitales Landsat están disponibles desde 1984 casi para todas partes del mundo; es por ello que se optó por usar imágenes de baja resolución (30m).

5.6.2. Grado de Dispersión (DIS) y Horizonte de Percepción (HP)

La métrica DIS no está considerando la dispersión de áreas urbanas alejadas en un horizonte de percepción (HP) mayor a 2 km. Algunas áreas cercanas al nuevo puerto están alejadas más de 5 km y no son contabilizadas por DIS con HP de 2 km. (ver Figura N° 32). Si lo hiciera, el grado de dispersión DIS y en consecuencia las métricas UP y WUP serían mayores para los años 2017 y 2022, sobre todo para este último (ver Figura N° 33).

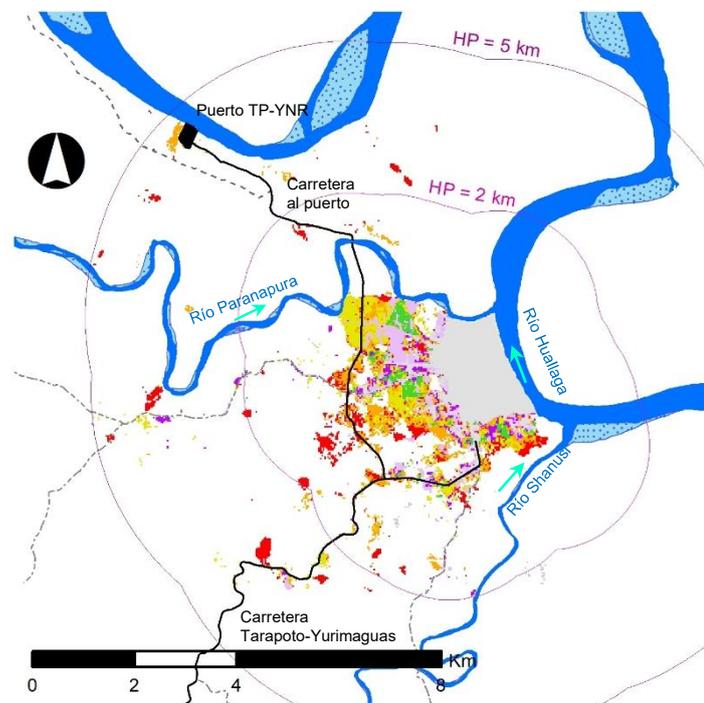
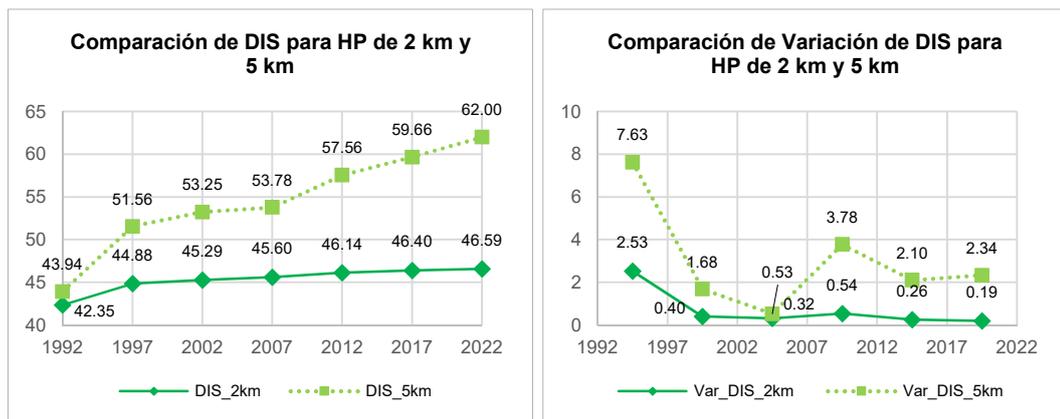


Figura N° 32. Visualización de horizontes de percepción de 2 km y 5 km para el área urbana de Yurimaguas 2012.

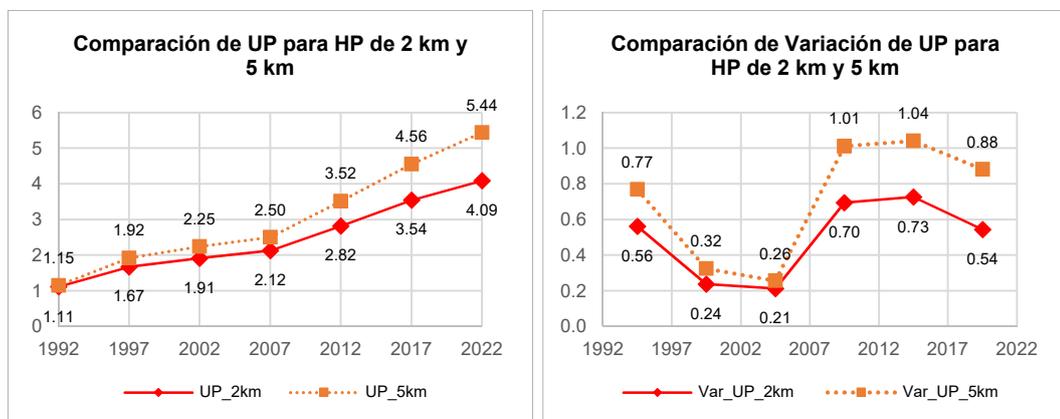
Nota: Se puede observar como zonas de crecimiento urbano quedan fuera del horizonte de percepción de 2 km (polígono fucsia) pero se encuentran dentro de un horizonte de percepción de 5 km (polígono morado).

Elaboración propia.

En la Figura N° 33.a, se puede observar que usando un horizonte de percepción de 5 km en lugar de 2 km, las variaciones de las métricas de DIS por quinquenio capturan mejor el comportamiento de la dispersión de áreas urbanas de Yurimaguas para los periodos 2007-2012 y 2017-2022. Esto es concordante con lo que se observa en el mapa de cambio de la Figura N° 32: la cantidad de parches urbanos aumenta en los quinquenios mencionados, aumentando así las variaciones de DIS (ver Figura N° 33.a).



(a)



(b)

Figura N° 33. Gráfico de comparación de las métricas DIS (a) y UP (b) para diferentes horizontes de percepción de 2 km y 5 km
 Elaboración propia.

Con respecto a la métrica UP, si el horizonte de percepción fuera 5 km en lugar de 2 km, los valores difieren ligeramente entre 1992-2007, pero significativamente entre 2007-2022 (ver Figura N° 33.b). Esto se debe al aporte del grado de dispersión DIS en el cálculo de UP, que como se mencionó, con un HP de 5 km captura mejor el comportamiento de la ciudad de Yurimaguas en los últimos años. Si bien el comportamiento de la variación de UP por quinquenios es

cualitativamente el mismo para HP de 2 km y 5 km, es decir, sigue marcando un ciclo de auge y caída; la intensidad del aumento UP entre 2007-2012 es más evidente con un HP de 5 km que con 2 km. En general, el proceso de crecimiento urbano disperso 2007-2022 es más evidente también. Así, el aumento de UP desde que comenzaron las ejecuciones del corredor IIRSA en Yurimaguas (2007-2022) es de 117.2% (2.94 UPU/m²) con un HP de 5 km frente a 92.9% (2.12 UPU/m²) con un HP de 2 km.

El horizonte de percepción determina la escala de análisis espacial a usar, y, por lo tanto, esta escala debe ser considerada para la interpretación de los resultados. Los autores de la métrica UP, Jaeger et al (2010), recomiendan elegir un horizonte de percepción de 2 y 5 km para “regiones con poblaciones de estructura de escala pequeña como Suiza”. Las áreas de estas poblaciones analizadas por los autores están entre 400-2800 Ha de superficie urbana para diferentes años, la ciudad de Yurimaguas tiene una superficie que varía entre 335 y 1128 Ha aproximadamente, así que está dentro del rango de la recomendación. Sin embargo, para esta investigación se eligió 2 km y no 5 km por la disponibilidad de la herramienta de cálculo ‘USM Toolset’ para el uso de las métricas UP y WUP. El manual del usuario de la herramienta desarrollada en ArcGis para cuantificar el crecimiento urbano disperso -USM Toolset- recomienda altamente usar 2 km como horizonte de percepción pues USM Toolset está utilizando para el cálculo de WUP una función de ponderación w1 desarrollada para un horizonte de percepción de 2 km. Si se quiere cambiar de horizonte de percepción se debería tener en cuenta modificar esta función w1 también. Es decir, la métrica UP si se puede calcular para 5 km u otro horizonte de percepción, pues no requiere de funciones de ponderación en su cálculo, sin embargo, para usar la métrica WUP con 5 km de horizonte de percepción sí se debería modificar la función de ponderación w1, dentro del código fuente de la herramienta USM Toolset para ser consistente y no derivar en conclusiones engañosas o equivocadas (Nazarnia et al., 2016).

5.6.3. Utilización del área edificada: densidad poblacional (UD)

Los valores de densidad poblacional en Yurimaguas encontrados en esta investigación, a partir de información de censos de INEI y sensores remotos, fluctúan entre 73.7 hab/Ha y 88.4 hab/Ha; los cuales son considerados de densidad baja para un área urbana. La baja densidad de Yurimaguas, coincide

con el PDU 2015 Yurimaguas; el cual ha identificado a partir de un análisis de las alturas de edificaciones, donde se concluyó que el 85.45% de viviendas en Yurimaguas son de 1 solo piso. También, en el Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano Sostenible (RATDUS) (MVCS, 2016) presentan como densidad poblacional para zonas de vivienda unifamiliar el valor 250 hab/Ha. La densidad poblacional de Yurimaguas está muy por debajo de ello.

En el último periodo 2017-2022, la densidad poblacional de Yurimaguas se incrementó por lo que no se estaría cumpliendo la definición crecimiento urbano disperso de Jaeger y Schwick (2014) de forma estricta en ese periodo. Sin embargo, Jaeger y Schwick (2014) también presenta en su definición: *“Crecimiento Urbano Disperso es un fenómeno que puede ser percibido visualmente en el paisaje”*, es decir, que el crecimiento urbano disperso es susceptible de observación directa. Y a pesar que la definición y métrica no lo capture perfectamente, el grado de dispersión de las áreas edificadas en el periodo de 2017-2022 es el mayor en los últimos 30 años. Entonces, no es que el patrón de crecimiento urbano disperso haya cesado luego de 10 años de haberse iniciado en Yurimaguas, si no que la forma en la que se presenta es diferente a la que Jaeger y Schwick Jaeger y Schwick (2014) pudo definir. Como se presentó en el acápite 2.2.3.2, no hay un consenso universal sobre la definición de crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*), e intentos de definición para la región latinoamericana y para nuestro contexto son necesarios.

Por otro lado, si la ciudad se expande se esperaría que la densidad poblacional caiga por ser inversamente proporcional al área urbana. Sin embargo, en el caso de estudio, la densidad poblacional urbana de Yurimaguas disminuye al expandirse la ciudad en un solo periodo 2007-2012, que coincide con la integración al sistema vial nacional, luego la densidad poblacional aumenta. Esto se interpreta como que en un primer momento la ciudad albergaba determinada población y en ese periodo se dio un incremento súbito de área que supero el incremento de población, sin embargo, en periodos posteriores la tasa de crecimiento de la población (estimado en 4.6% anual, entre 2017-2022) es muy alta y ha superado a la tasa de crecimiento del área urbana total (2.81% anual, entre 2017-2022), haciendo que la densidad marque también incrementos. Yurimaguas viene atrayendo población de forma elevada.

También puede que el aumento de la densidad se deba a la proyección de población para 2022; para esta, se usó la misma tasa de crecimiento poblacional (4.6% anual) del periodo intercensal 2007-2017, cuando es posible que sea menor. Esto se podrá confirmar cuando INEI haga el próximo censo 2027. Asimismo, los valores de área total urbana se podrían mejorar, recordemos que en este trabajo dichos valores se obtienen de la clasificación supervisada de cobertura de suelo a partir de una imagen satelital de 30m de resolución. La clasificación tiene un error que detecta la evaluación de precisión (ver Tabla 14). En futuras investigaciones para disminuir este error se podrían usar imágenes de menor resolución si están disponibles, y/o la clasificación de imágenes podría detectar áreas edificadas en lugar de área urbana total (es decir, sin incluir calles y áreas recreativas). Así, se obtendrían valores para la métrica de utilización de suelo (UD) usando densidad poblacional neta en lugar de densidad poblacional bruta.

Por último, en esta investigación se estudió la densidad poblacional urbana bruta, es decir, global de toda la ciudad. Sería recomendable realizar otras investigaciones utilizando densidad poblacional distribuida al interior de la ciudad de Yurimaguas para poder saber si la densidad en el centro histórico de la ciudad tiene un comportamiento diferente. Baum-Snow (2007) mencionaba “una carretera nueva que pase por el centro de la ciudad reduce la población del centro” (reduce también la densidad poblacional del centro de la ciudad). Probablemente, la densidad poblacional del centro de la ciudad de Yurimaguas haya disminuido entre 1992-2022. Esto solo se podría confirmar con un estudio de densidad poblacional al interior de la ciudad de Yurimaguas, para ver la diferencia de la densidad del centro de la ciudad entre 1992-2022. Este estudio también ayudaría a definir una densidad poblacional ‘objetivo’ para Yurimaguas.

5.6.4. La métrica Proliferación Urbana Ponderada (WUP) y Permeabilidad Urbana (UP)

Para empezar, esta investigación realizó la cuantificación de crecimiento urbano disperso en la ciudad de Yurimaguas, lo cual es un caso de estudio exploratorio de la cuantificación del crecimiento urbano disperso (urban sprawl) en una ciudad fluvial amazónica del Perú. Asimismo, ha brindado resultados acerca del uso de

las métricas espaciales propuestas por Jaeger et al (2010; 2014): Permeabilidad Urbana (UP) y Proliferación Urbana Ponderada (WUP) en dicho alcance.

Las métricas se apoyan en una definición de crecimiento urbano disperso (urban sprawl) propuesta por Jaeger et al (2010; 2014). Esta investigación encuentra en la definición de estos autores, una ventaja sustancial al concentrarse en la manifestación espacial en lugar de las causas y consecuencias. Por otro lado, al intentar cuantificar el crecimiento urbano disperso, la elección de una métrica ideal es parte de los obstáculos. Por ejemplo, el área urbana total como medida del patrón específico de 'crecimiento urbano disperso' no es apropiada ya que "si bien es parte del fenómeno no brinda información del arreglo espacial de las ciudades, por lo que es insuficiente" (Jaeger et al., 2010), además, no cumple con 13 condiciones que garantizan su desempeño en diversas circunstancias (Jaeger et al., 2010). Esta limitación se puede reconocer en el estudio Espinoza y Fort (2020), que al cuantificar el crecimiento urbano de varias ciudades, añade a la métrica de cantidad de nuevo suelo (área), una caracterización cualitativa utilizando una tipología de ocupaciones (ilegal, informal, formal) para poder describir las variedades del crecimiento urbano (Espinoza y Fort, 2020). En cambio, esta caracterización cualitativa adicional no es requerido con las métricas de Jaeger et al (UP y WUP) ya que fueron elaboradas para medir la dinámica del fenómeno de un crecimiento urbano disperso (urban sprawl), intentando incluir la multidimensionalidad del fenómeno. Adicionalmente, las métricas UP y WUP no solo cumplen con las 13 condiciones que aseguran su desempeño en diversas circunstancias sino que cuentan con paquetes de software de libre acceso y manuales desarrollados para facilitar su cálculo. Más aún, son flexibles con los datos de insumo a diversas escalas, Por lo tanto, las métricas UP y WUP son susceptibles de automatización y replicación. Por lo que, podrían usarse en un sistema permanente de monitoreo de crecimiento urbano en diferentes ciudades del Perú, brindando así información para la toma de decisiones en la gestión de estas. Esto es importante para Yurimaguas en especial, ya que un monitoreo de crecimiento urbano automatizado podría visibilizar el aumento o disminución del proceso de crecimiento urbano disperso en la ciudad de manera pública. Y así también podría servir para evaluar si las medidas que se están aplicando por parte de la municipalidad y otros actores están dando resultados o no. De esa manera,

se podría supervisar el accionar frente al gran reto del crecimiento urbano disperso que atraviesan actualmente las ciudades, a nivel nacional y mundial.

Por otro lado, acerca del desempeño de las métricas UP y WUP en el caso de estudio peruano de esta investigación, se puede decir que la métrica UP se ha encontrado apropiada al capturar el incremento continuo del grado de crecimiento urbano disperso en Yurimaguas, en cambio la métrica WUP con un HP de 2 km no ha tenido ese comportamiento, particularmente en el periodo 2017-2022 donde reporta una disminución del grado de crecimiento urbano disperso. Esto se debió en gran medida al factor de ponderación w_2 , que es dependiente de los valores de utilización del suelo (UD) (en esta investigación esto se refiere a la densidad poblacional bruta) y la función del factor de ponderación de w_2 (ver acápite 4.5.6). Castigando así a valores de densidad poblacional mayores a 80 hab/Ha con coeficientes muy bajos de w_2 , causando que WUP reporte finalmente valores bajos, es decir, bajo grado de crecimiento urbano disperso, aún cuando otros estudios, la cantidad de superficie urbana y la configuración espacial de esta digan lo contrario sobre Yurimaguas.

El factor de ponderación de la densidad de utilización (w_2) de la métrica WUP podría haber fallado en el caso de Yurimaguas, debido a varios motivos: Primero, Jaeger y Schwick (2014) utilizan para determinación de la densidad de utilización: habitantes y/o trabajos por hectárea (hab-trabajos/Ha), en cambio en esta investigación, se ha utilizado en su lugar densidad poblacional bruta, es decir, habitante por hectárea (sin trabajos). Estos valores son diferentes. Por ejemplo, los autores reconocen que $222\text{m}^2/\text{hab-trabajos}$ es equivalente a $400\text{m}^2/\text{hab}$, lo cual corresponde a 45 hab-trabajos/Ha y 25hab/Ha, respectivamente. Esta diferencia podría haber ocasionado confusión. En la aplicación que hacen los autores, cuantifican WUP a una escala de país (Suiza) con una grilla de 9 Ha por celda y mencionan que la inclusión de la cantidad de trabajos está orientada a corregir aquellas áreas centrales con actividad comercial concentrada, dado que ahí hay pocos residentes y, sin embargo, es altamente utilizado y por ello no debe considerarse disperso. En esta investigación el área de reporte es mayor y no se requería hacer esta corrección, por lo que no se usó la cantidad de trabajos. Segundo, los valores que han construido la función de ponderación w_2 responden a la realidad Suiza ya que está basada en una densidad de utilización objetivo de

45hab-trabajos/Ha (valor mínimo fijado para áreas urbanas en la Estrategia por el Desarrollo Sostenible 2012-2015 del Consejo Federal Suizo) a la cual se le da un valor de w_2 de 0.8; valores menores de 45hab-trabajos/Ha de densidad de utilización serán castigados con los valores más altos w_2 de 0.8 a 1, es decir, mayor crecimiento disperso (Jaeger y Schwick, 2014). Si este valor de densidad de utilización objetivo fuera mayor, las funciones de w_2 resultantes harían que los valores de w_2 aumentara para los valores de UD de Yurimaguas (70-90hab/Ha) (ver Figura N° 34). En Perú, se carece de estos estudios sistemáticos sobre la densidad habitacional urbana. Por tanto, el uso de la métrica WUP con la función de ponderación de w_2 por defecto, podría resultar engañoso en casos peruanos, pues los valores de WUP han sido afectados por el factor de ponderación de densidad (w_2) de gran manera. Para poder utilizar la métrica WUP de forma apropiada hace falta una calibración de la función del factor de ponderación w_2 , de acuerdo a la realidad peruana, y para ello se requiere un valor de densidad poblacional objetivo (hab/Ha). Este valor resultará de estudios de densidad poblacional en ciudades fluviales peruanas, particularmente, para el caso de Yurimaguas.

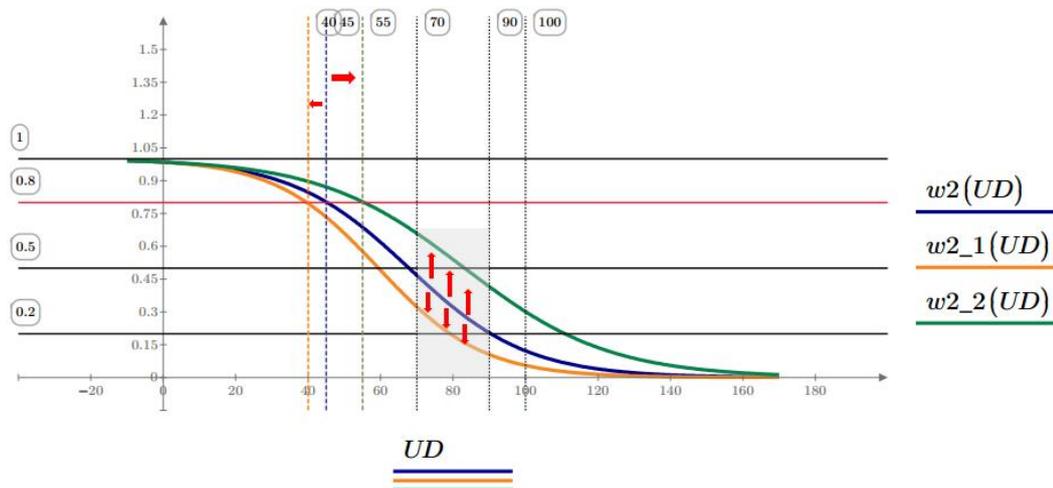


Figura N° 34. Análisis del factor de ponderación w_2 con diferentes funciones de ponderación.

Nota: En la gráfica se observan varias funciones de ponderación w_2 de acuerdo a diferentes UD objetivo. En línea azul se encuentra la función de ponderación w_2 por defecto (densidad objetivo de 45hab/Ha), en línea naranja una función construida con una densidad menor (de 40hab/Ha), y en línea verde con una densidad mayor (de 55hab/Ha). Nótese que las funciones construidas con mayor densidad objetivo presentan mayores valores de w_2 para un mismo valor de UD . Por ejemplo, esto se observa con UD de Yurimaguas (entre 70-90hab/Ha) Elaboración propia a partir de la ecuación de w_2 presentada en (Jaeger y Schwick, 2014).

Sin embargo, a pesar de estas falencias la cuantificación del crecimiento urbano disperso utilizando los métodos de Jaeger et al (2010; 2014) es un apoyo en sí mismo por su conceptualización y directa aplicación de estrategias para disminuir el crecimiento urbano disperso. Jaeger y Schwick (2014) mencionan que para disminuir el crecimiento urbano disperso, preferiblemente debe: 1) disminuir el área edificada; cuando lo anterior no sea posible, 2) disminuir la dispersión de esta área edificada; y si esto último no fuera posible, 3) aumentar la utilización del suelo en términos de la densidad población. Esta forma directa de afrontar el crecimiento urbano disperso es una clara ventaja que esta investigación encuentra. La operacionalización del problema de crecimiento urbano disperso (urban sprawl) en términos de indicadores permite monitorearlos, tomar medidas, y evaluar el funcionamiento de estas.

Por otro lado, corrigiendo el horizonte de percepción a 5 km en la métrica UP podría perfectamente representar el crecimiento urbano disperso de Yurimaguas, pues a la métrica WUP le falta calibrar las funciones de ponderación w_1 y w_2 a partir de próximas investigaciones. La métrica UP también fue desarrollada para cuantificar el crecimiento urbano disperso y está lista para usarse en casos peruanos, aunque no considere la densidad poblacional en su cálculo.

5.7. Proceso de crecimiento urbano disperso de Yurimaguas (2007-2022)

La ciudad de Yurimaguas ha crecido 88.4% (525.42 Ha) en superficie, y aumentado el grado de crecimiento urbano disperso en 92.9% (2.12 UPU/m²) entre 2007 y 2022; en otras palabras, en estos últimos 15 años la ciudad de Yurimaguas casi ha duplicado el área urbana y su patrón ineficiente. Como en los anteriores tres ciclos de auge en Yurimaguas, el crecimiento urbano actual se estaría dando producto de un ciclo económico. Anteriormente estos ciclos estaban enfocados en recursos naturales como el caucho, barbasco, petróleo, hoy el foco podría ser la infraestructura. El factor clave es el desarrollo progresivo de infraestructura del corredor de IIRSA-Eje Amazonas, pues es la parte de mayor inversión dentro de un nuevo ciclo económico de auge y caída. En este ciclo económico de IIRSA, la administración del uso de suelo en general -y del uso de suelo urbano en particular- es crucial. Así se podría evitar que Yurimaguas sea un caso más del ineficiente y explosivo crecimiento urbano disperso en la Amazonía peruana, junto a Pucallpa e Iquitos. Esto significaría evitar las consecuencias del

crecimiento urbano disperso, entre las que se listan: invasión y tráfico de terrenos; ineficiencia de operación y mantenimiento de infraestructura y servicios públicos: agua, desagüe, electricidad, etc. (la misma operación del corredor logístico de IIRSA estaría en juego); disparidad de bienestar entre diferentes barrios al ser limitados en servicios de calidad causando afectaciones en la salud pública, educación y seguridad; déficit de espacios abiertos y calidad de aire, incrementos de temperatura por el aumento de superficie impermeable y disminución de vegetación, más aún en la Amazonía donde las temperaturas son ya elevadas (Bhatta, 2010).

Este proceso de crecimiento urbano en Yurimaguas experimenta cinco trayectorias y cinco tipos de patrones. Estas trayectorias están vinculadas al desarrollo progresivo de infraestructura del corredor IIRSA-Eje Amazonas del 2007 en adelante. Las trayectorias de crecimiento urbano están en las inmediaciones de la infraestructura. La mayor parte del patrón de expansión urbana sucedió en el lugar donde el corredor se acerca más a la ciudad (la vía de acceso al puerto), y recientemente otra trayectoria dispersa e incipiente está buscando carreteras de menor orden.

Las implementaciones de los instrumentos de gestión urbana parecen hacer poco por controlar el proceso de crecimiento urbano de múltiples trayectorias y patrones. Esta deficiencia es aprovechada por la especulación del mercado. La tendencia hacia dispersión que presenta el proceso de crecimiento urbano a partir de 2007 pone a Yurimaguas en un reto amplio: el de lidiar con gran cantidad de suelo destinado al uso urbano de baja densidad; Teniendo gran variedad en la calidad de lotización y servicios entre una ubicación y otra. Ya había superávit de estructuras residenciales en 2015 y a esto se ha sumado más suelo urbano con el mismo fin. Esto dista muy lejos del desarrollo urbano compacto y de usos mixtos que busca la Nueva Agenda Urbana – Habitat III (2017). Mientras que, la tasa de crecimiento poblacional urbana tiene una marcada tendencia hacia el alza, Yurimaguas sigue siendo un foco de atracción para los migrantes en busca de un lugar para vivir. El crecimiento urbano no planificado, ilegal y especulativo detectado por el PDU 2015 parece no detenerse.

El Monitoreo de Crecimiento Urbano es una herramienta más directa para proveer de información a los tomadores de decisión, definir metas verificables usando métricas como Permeabilidad Urbana (UP), por ejemplo. Esta herramienta junto a acciones de Regulación y Manejo de suelo urbano puestas en práctica podrían ser parte de un programa de cuidado de las ciudades circundantes a los megaproyectos en los que participa el Perú (como es IIRSA), con medidas complementarias a la inversión en infraestructura, desde su concepción. Los entes promotores de grandes proyectos de infraestructura dentro del Estado deberían tomar acciones y no dejar a los gobiernos locales solos frente a un problema que ellos mismos no se causan. Los cuatro ciclos económicos han respondido a intereses externos a Yurimaguas. Pese a que los gobiernos locales tienen la competencia en materia de gestión del suelo urbano, requieren soporte para aumentar sus capacidades si quieren lidiar con estos retos. Por lo que, un Programa de Monitoreo de Crecimiento Urbano de ciudades circundantes a IIRSA podría ser el inicio.

El monitoreo de crecimiento urbano de Yurimaguas ha evidenciado un crecimiento acumulativo durante el desarrollo del corredor de gran escala IIRSA y una intensificación durante las fases de ejecución de infraestructura de este corredor. Pero este corredor aún está incompleto. Yurimaguas está esperando la última fase del corredor (Fase E) Desarrollo de la Hidrovía Amazónica y la segunda etapa del Terminal Portuario Yurimaguas-Nuevo Reforma. ¿Cómo podría expandirse la ciudad cuando el corredor integral entre en acción? Responder esa pregunta es materia de otra investigación. Lo mismo se podría decir para el Proyecto Integral de Agua y Alcantarillado para toda la ciudad de Yurimaguas, el cual está por ejecutarse, y cuyo efecto podría complicar más el crecimiento urbano disperso si no se toman acciones para el control del suelo urbano antes de la ejecución de este proyecto tan anhelado para la población. A lo largo de este capítulo se han sugerido varias investigaciones. En general, en Perú más investigaciones sobre la relación entre infraestructura y crecimiento urbano o cambio de cobertura de suelo, son requeridas. Difícilmente se puede lidiar con un problema complejo si no se comprende primero los procesos que moldean las ciudades peruanas.

Con las métricas usadas en este estudio lo que se puede decir es que el proceso de crecimiento urbano de Yurimaguas sigue una tendencia de incremento

marcado del grado de crecimiento urbano disperso (urban sprawl). Acciones para detener y desacelerar este proceso son requeridas. Las métricas UP y WUP propuestas por Jaeger et al (2010; 2014), tiene en sí mismas una forma clara y operativa de control para el crecimiento urbano disperso que puede usarse dentro la gestión pública: para disminuir el grado de crecimiento urbano disperso es preciso, (1) no dejar que crezca la cantidad de área edificada, si esto no es posible, entonces (2) disminuir la dispersión, es decir, permitir solo las nuevas áreas contiguas a la ciudad en grandes bloques, y por último, (3) aumentar la utilización del suelo, incremento el número de personas que vivan en la zona urbana actual, aumentar la densidad poblacional para no requerir más suelo horizontalmente. Acciones bajo estas estrategias ayudarían a disminuir el grado de crecimiento urbano disperso o en su defecto evitar que crezcan de forma súbita, en otras palabras, controlarlo.

El proceso de crecimiento urbano disperso en Yurimaguas durante el ciclo de IIRSA (del 2000 en adelante) debe seguir estudiándose a mayor profundidad, sobre todo, para hallar alternativas de regulación y manejo adecuadas del suelo urbano, tal que la Municipalidad Provincial de Alto Amazonas; y el Gobierno Regional de Loreto puedan accionar para la ciudad de Yurimaguas.

CONCLUSIONES

Esta sección hace una revisión del cumplimiento de los objetivos presentados en esta investigación y basado en ello, ofrece las siguientes conclusiones:

- Se realizó una revisión documental de los procesos de crecimiento urbano de Yurimaguas influenciados por los principales ciclos económicos o productivos, cumpliendo así el primer objetivo específico de esta investigación. Se han identificado cuatro ciclos y en general se dieron por influencia externa (fuera del país), de duración corta (en ciclos de auge y caída) y únicos pues no se repiten: el ciclo del caucho (1880-1920), el ciclo del barbasco (1943-1960), el ciclo del petróleo (1970-1990), y el nuevo ciclo de IIRSA (2000-actualidad).
- Para la ciudad de Yurimaguas, punto natural de conexión fluvial entre las ciudades en territorio amazónico, los ciclos económicos de auge y caída representaron consolidación administrativa, construcción de equipamiento público e infraestructura de transporte y servicios básicos, como parte del crecimiento espacial de la ciudad, migración, mayor comercio, y proliferación de construcciones. El crecimiento urbano espacial durante los primeros tres ciclos tiene un patrón semejante. La primera fase corresponde a la cercanía al puerto natural en río Huallaga como núcleo inicial y las fases de crecimiento sucesivos fueron hacia las fronteras naturales que representan los ríos Parapapura y Shanusi a los costados, estos tres ríos encajonan a la ciudad y orientaron el crecimiento urbano para la zona oeste como única posibilidad, hacia donde el aeropuerto Moisés Benzaquén Rengifo se orienta también, sobrepasando así el límite natural que representaba la Atum Quebrada. Sin embargo, a partir del año 2007, los patrones de crecimiento previos se ven alterados.
- Se describió el desarrollo progresivo de infraestructura del corredor de IIRSA-Eje Amazonas en Yurimaguas, detallando proyectos individuales diferenciándolos en tres etapas (expectativa, ejecución y operación). Para entenderlo de forma integral como un corredor en construcción se tomaron las fases de ejecución de cada proyecto como fases de ejecución del corredor de gran escala y con ello se comparó el crecimiento urbano de Yurimaguas.

- Se realizó una detección de cambios urbanos cada 5 años entre los años 1992-2022, propiamente un monitoreo del crecimiento urbano de la ciudad de Yurimaguas usando datos de sensores remotos, SIG y datos de cantidad de población, cumpliendo así con el segundo objetivo específico. Para este proceso se utilizó varios softwares libres como Google Earth Engine, QGIS 3.22.12 'Biatowieża', así como algunos complementos para QGIS como 'Semi-Automatic Classification Plugin' (SCP) 7.10.10 y también el complemento 'USMToolset' para ArcMap 13.3.
- Se hizo una clasificación supervisada de cobertura de suelo a partir de imágenes satelitales en el área de estudio para los años 1992, 1997, 2002, 2007, 2012, 2017 y 2022; obteniéndose nueve clases de cobertura: Área Urbana, Cuerpos de agua, Árboles, Pasto, Vegetación Inundada, Nubes, Playas, Sombra de nubes, y Tierra desnuda. El área de estudio está cubierta por tres clases de cobertura principalmente: árboles, pastos, y cuerpos de agua. En la clase más abundante: Árboles, se puede notar un descenso continuo de esta cobertura entre 1992-2022. La segunda clase más importante es Pasto. La clase Pasto crece entre 1992-2007 y luego decrece hasta 2022. La clase Cuerpos de agua varía pues los ríos amazónicos desplazan y modifican sus cauces constantemente. Por último, hay un incremento continuo de las clases Tierra desnuda y Urbana que hacen referencia al crecimiento urbano de Yurimaguas.
- Se hizo una evaluación de precisión de la clasificación urbana-no urbana informando sobre la confiabilidad del proceso. Todas las clasificaciones cuentan con una precisión general mayor a 97%, precisión de usuario para la clase urbana mayor a 86%, y, precisión del productor para la clase urbana mayor a 82%.
- Se analizó los patrones de crecimiento urbano de Yurimaguas entre 1992-2022, utilizando métricas espaciales, cumpliendo así el tercer objetivo específico de esta investigación. Las métricas usadas fueron: área urbana total (AUT), dispersión (DIS), densidad poblacional (UD), permeabilidad urbana (UP) y proliferación urbana ponderada (WUP). Adicionalmente se usó la clasificación de tipos de patrones crecimiento urbano: expansión, relleno, aislado, de rama lineal y rama agrupada para describir los periodos quinquenales.

- Los resultados sugieren que en Yurimaguas se está produciendo un crecimiento urbano acumulativo durante el desarrollo del corredor multimodal IIRSA-Eje Amazonas, reflejado en las métricas de Área Urbana Total (AUT) y Permeabilidad Urbana (UP). Esto es, en la medida que se va desarrollando el corredor de gran escala por partes de forma progresiva, la cantidad de superficie de cobertura urbana y el grado de crecimiento urbano disperso (*urban sprawl*) de Yurimaguas van en aumento; pero en periodos donde se ejecutan obras de proyectos de infraestructura de gran escala, el crecimiento urbano muestra una intensificación (2007-2012; 2012-2017). Asimismo, esta intensificación ocurre también a medida que el corredor entra en funcionamiento de manera incremental (2017-2022). El aumento acumulativo tiene un límite, esto es, los incrementos sufren también un ciclo de auge y caída.
- La mayor cantidad de superficie de crecimiento urbano en el ciclo de IIRSA se dio entre 2012-2017 (195.3 Ha). Lapso en el que se ejecutaron dos obras importantes para un mismo proyecto del nuevo puerto: [1] la construcción de la vía de acceso al puerto (el cual incluyó el puente Paranapura) y [2] la construcción del Terminal Portuario Yurimaguas-Nueva Reforma. El segundo lapso de mayor crecimiento se dio en el quinquenio 2007-2012 (185.3 Ha), periodo en el que se ejecutó la carretera Tarapoto-Yurimaguas, como parte del corredor vial Paita-Yurimaguas. El tercer mayor crecimiento se dio entre 2017-2022 (144.8 Ha), en este periodo se tenía firmado el contrato de concesión de la Hidrovía Amazónica y se tenía expectativa de ejecución, pero esta no se llegó a ejecutar en ese periodo. Sin embargo, en el periodo 2017-2022 el corredor de gran escala ya se encontraba en funcionamiento, aunque no se haya completado totalmente. Contrariamente, los periodos 1997-2002 y 2002-2007 donde no se firmaron contratos ni ejecutaron proyectos de infraestructura alguna de IIRSA tienen las menores áreas de crecimiento urbano.
- La cuantificación de la cantidad de cobertura urbana usando sensores remotos y SIG, es concordante en el orden de magnitud con otros estudios.
- Mediante un mapa de cambio urbano entre 1992 y 2022, por quinquenio, se definieron 5 trayectorias de crecimiento de urbano en la ciudad de Yurimaguas. Las trayectorias de crecimiento urbano de mayor intensidad sucedieron en las inmediaciones de la infraestructura de transporte, al borde

de la ciudad de Yurimaguas, y cerca de las fronteras fluviales de los ríos Paranapura y Shanusi. La infraestructura de transporte parece ser un atractor para las áreas de crecimiento urbano, ya sea esta infraestructura la del corredor multimodal IIRSA-Eje Amazonas (que incluye la carretera Tarapoto-Yurimaguas, la nueva vía al puerto y el Terminal Portuario Yurimaguas-Nueva Reforma), el aeropuerto de CORPAC, o la carretera Yurimaguas-Munichis. Cercana a esta última carretera vecinal, otras trayectorias dispersas e incipientes de crecimiento urbano se alejan de la actual área urbana. Contrariamente, la pendiente del terreno no ha ejercido una función decisoria en el crecimiento urbano entre 1992-2022.

- Las trayectorias halladas en este trabajo mediante el mapa de cambio urbano son en mayor número (cinco) que las descritas por el PDU 2015 (tres). La diferencia radica en que el PDU utiliza un patrón para hacer la lectura, mientras en esta investigación se hacen a partir de la lectura de patrones en múltiples tiempos, es decir, a partir de un proceso. Lo cual es una ventaja para facilitar la lectura.
- Entre 1992 y 2022, en Yurimaguas se han presentado cinco patrones de crecimiento urbano: expansión, aislado, de rama agrupada, patrón de rama lineal, y relleno. El tipo de patrón de crecimiento urbano más recurrente en Yurimaguas entre 1992-2022 es el de expansión, seguido del patrón aislado y rama lineal. Por otro lado, en periodos de ejecución del corredor donde aumenta el grado de crecimiento urbano disperso, se presentan más tipos de patrones de crecimiento urbano en Yurimaguas que en otros periodos. La mayor parte del patrón de expansión urbana sucedió en el lugar donde el corredor se acerca más a la ciudad (la vía de acceso al puerto).
- El monitoreo de crecimiento urbano identificó que áreas de crecimiento urbano ocupadas entre 2012-2017 y 2017-2022 se encuentran sobre zonas destinadas para fines agrícolas y de protección ambiental y ecológica por la propuesta de Clasificación General del Suelo que es parte del Plan de Desarrollo Urbano de Yurimaguas 2015-2025
- El grado de dispersión de la ciudad de Yurimaguas, reflejado en la métrica DIS con un Horizonte de Percepción de 2 km, tiene una tendencia al alza permanente en los últimos 30 años. Sin embargo, la variación de DIS por quinquenios no muestra un gran cambio en el periodo 2012-2017, donde se ejecutan dos proyectos de infraestructura de IIRSA: la vía de acceso al nuevo

puerto y el Terminal Portuario Yurimaguas-Nueva Reforma; ni tampoco en el periodo en el periodo de funcionamiento parcial del corredor (2017-2022), aun cuando se observa parches urbanos cada vez más alejados del borde de la ciudad en esos periodos. Por lo tanto, la variación de la métrica de dispersión por quinquenios, con un Horizonte de Percepción de 2 km (valor recomendado por el creador), no captura el cambio de los patrones de crecimiento urbano de tipo aislado para los periodos 2012, 2017, 2022 pues los parches urbanos se encuentran alejados de la ciudad a una distancia mayor al horizonte de percepción de 2 km. En cambio, esto sí se retrata cuando se usa la métrica DIS con un Horizonte de Percepción de 5 km.

- Los valores de densidad poblacional urbana bruta (UD) de Yurimaguas, entre 1992-2022, fluctúan entre 73.7 hab/Ha y 88.4 hab/Ha. Estos son valores bajos para un área urbana. Además, la métrica de densidad poblacional (UD) presenta un comportamiento variable por quinquenio. Durante el ciclo de IIRSA (2000 en adelante), se puede notar que la densidad poblacional ha tenido una tendencia al alza salvo entre 2007-2012 y 2012-2017 (picos negativos) cuando experimenta una caída y problemas para subir nuevamente, pero luego lo consigue siendo el 2022 el año con el mayor valor de densidad poblacional de Yurimaguas en los últimos 20 años. Estos periodos de picos negativos relativos coinciden también con la ejecución de obras del corredor de IIRSA.
- La métrica de Permeabilidad urbana (UP) muestra un incremento continuo entre 1992 y 2022. También, se observa que el mayor incremento del grado de infiltración de suelo urbano (UP) en Yurimaguas se da en el periodo 2012-2017 (cuando se ejecutan dos obras: la vía de acceso al puerto y el puerto COPAM), le sigue el periodo 2007-2012 como segundo mayor (lapso en el que se ejecuta la carretera Tarapoto-Yurimaguas). En tercer lugar, se encuentra el periodo 2017-2022 (durante el funcionamiento parcial del corredor). Y los menores incrementos son los periodos 1997-2002 y 2002-2007, de forma descendente (fases donde el corredor de IIRSA aún no existía). La variación de la Permeabilidad Urbana (UP) sugiere un crecimiento acumulativo en el tiempo del grado de crecimiento urbano disperso Yurimaguas, formando también un ciclo de auge y caída.
- La ciudad de Yurimaguas ha crecido 88.4% (525.42 Ha) en superficie urbana, y aumentado el grado de crecimiento urbano disperso en 92.9% (2.12

UPU/m²) entre 2007 y 2022, según las métricas de Área Total Urbana y Permeabilidad urbana, respectivamente. En estos últimos 15 años la ciudad de Yurimaguas casi ha duplicado el área destinado a uso urbano y su patrón ineficiente. Como en los anteriores tres ciclos de auge en Yurimaguas, el crecimiento urbano se estaría dando producto de un ciclo económico (el ciclo de desarrollo de infraestructura de IIRSA).

- Esta investigación es un caso de estudio exploratorio de la cuantificación del crecimiento urbano disperso (urban sprawl) en una ciudad fluvial amazónica del Perú. Y, ha dado resultados acerca del uso de la métrica UP y WUP en dicho alcance. La métrica UP se ha encontrado apropiada al capturar el incremento continuo del grado de crecimiento urbano disperso en el caso de Yurimaguas, en cambio WUP no ha tenido ese comportamiento, particularmente en el periodo 2017-2022 donde reporta de forma engañosa una disminución del grado de crecimiento urbano disperso aun cuando otros estudios, la cantidad de superficie urbana y la configuración espacial en ese periodo digan lo contrario sobre Yurimaguas.
- El uso de la métrica WUP con su función de ponderación de w_2 por defecto podría resultar engañoso en caso como el de Yurimaguas pues los valores han sido afectados por la densidad poblacional (UD) de gran manera. El factor de ponderación de la densidad de población (w_2) de la métrica WUP falla en el caso de Yurimaguas, debido a que los valores que construyen la función de ponderación w_2 responden a la realidad de densidad poblacional Suiza, en términos de una densidad poblacional objetivo. Es decir, lo que para ellos resultaría no siendo crecimiento urbano disperso podría serlo en el Perú. Para el uso de la métrica WUP de forma confiable hace falta una calibración de la función del factor de ponderación w_2 .
- Se hizo una descripción del proceso de cambio de patrones en el crecimiento urbano de una ciudad fluvial (Yurimaguas) en el periodo 1992-2022, que cubre el desarrollo del corredor IIRSA- Eje Amazonas (el punto intermodal) a partir del monitoreo espacial de crecimiento urbano. Cumpliéndose así, el objetivo general de esta investigación.
- Se identificaron y describieron tres procesos diferentes en la ciudad de Yurimaguas entre 1992-2022: 1) Un proceso de crecimiento urbano disperso de ciclo concluyente (1992-1997); 2) un proceso de crecimiento urbano compacto en espera (1997-2007); y 3) un proceso de crecimiento urbano

disperso identificado de 2007-2022. Entre 1992-1997 se entiende como parte del fin del ciclo del petróleo. Lo que ocurren entre 1997-1992 es un periodo de espera entre ciclos, y a partir del 2007 comienza evidenciarse los efectos sinérgicos del ciclo de IIRSA. Coincidentemente 2006 es el año en el que comienza la ejecución de proyectos de infraestructura de gran escala de IIRSA-Eje Amazonas en el territorio de Yurimaguas.

La pregunta de investigación e hipótesis que guiaron este trabajo fueron:

- ¿Cómo cambian los patrones de crecimiento urbano de una ciudad fluvial en la Amazonía peruana durante el desarrollo de infraestructura de gran escala de IIRSA?
- H: Durante el desarrollo de infraestructura de gran escala de IIRSA, el grado de crecimiento urbano disperso (Urban sprawl) de Yurimaguas se incrementa, con patrón de rama lineal circundante a la infraestructura de gran escala.

Cumplidos los objetivos se puede concluir que la hipótesis general fue validada de forma parcial. Los cambios de patrones de crecimiento urbano sí reflejan una tendencia creciente entre 1992-2022. El crecimiento urbano disperso se ha incrementado en 92.9 % durante el desarrollo de infraestructura de IIRSA (2007-2022). El patrón de rama lineal está presente durante del ciclo de IIRSA; sin embargo, también se encuentra el patrón de expansión y tiene una presencia más importante que la rama lineal. Pese a ello, la hipótesis general de esta investigación ha sido validada a través de esta investigación.

Hasta aquí se han mencionado las conclusiones referentes a los hallazgos y cumplimiento de los objetivos, hipótesis y pregunta de investigación. A continuación, se menciona el aporte al conocimiento que hizo esta investigación, así como algunas reflexiones:

- Esta investigación utiliza la premisa de que “el desarrollo de infraestructura de transporte causa crecimiento urbano disperso” (García-López, 2019) como soporte para aumentar la comprensión de cómo se manifiesta esto en el espacio (cómo cambian los patrones espaciales de una ciudad). Encontrando que, durante el desarrollo progresivo de la infraestructura de transporte de gran escala (corredor multimodal IIRSA-Eje Amazonas norte) se presenta en la ciudad de Yurimaguas un crecimiento de forma acumulativa en el tiempo.

Esto es, en la medida que se va desarrollando el corredor por partes de forma progresiva, la superficie de cobertura urbana y el grado de crecimiento urbano disperso (urban sprawl) de Yurimaguas van en aumento. Además, en periodos donde se ejecutan obras de los proyectos del corredor, el aumento de superficie de cobertura urbana y el incremento de grado de crecimiento urbano disperso muestran una intensificación. Asimismo, esta intensificación ocurre también a medida que el corredor entra en funcionamiento de manera incremental

- Este comportamiento en el crecimiento urbano de Yurimaguas durante el desarrollo de infraestructura de gran escala (en materia de incremento de superficie de área y grado de crecimiento urbano disperso) puede servir de evidencia empírica para reforzar la premisa propuesta por Cristaldo y Silvero (2013): “una obra de infraestructura de gran porte actúa como catalizador de un proceso multidimensional”.
- En el ciclo de IIRSA en Yurimaguas, uno de los recursos principales que se busca y consume es el suelo: suelo para albergar infraestructura, suelo para proveer de servicios del nodo logístico, suelo para un crecimiento apropiado de la ciudad, suelo para mantener el equilibrio con el ambiente: el comportamiento sinuoso de los ríos y ecología de los bosques amazónicos, entre otros. El suelo es un recurso limitado por lo que es necesario administrarlo de forma eficiente.
- El ciclo de inversión en infraestructura de IIRSA no es la única causa del crecimiento urbano disperso de Yurimaguas a partir de 2007, sino también el contexto en el que encuentra a la ciudad de Yurimaguas: la especulación, expectativa de revalorización del suelo, actitud de demanda de terrenos, falta de vivienda accesible, falta de aplicación de políticas apropiadas para la planificación de las ciudades, etc.
- Varios instrumentos de gestión urbana se han formulado para Yurimaguas en su historia reciente: Plan Director de Yurimaguas 1985 (INADUR, 1985); Plan Operativo Urbano 2001 (IDESUNI, 2001) y -el más reciente- Plan de Desarrollo Urbano de Yurimaguas 2015-2025 (MVCS y MPAA, 2015). A pesar de contar con 03 instrumentos de gestión urbana, se evidencia una implementación limitada de estos en el control del desarrollo de la ciudad espacialmente, lo cual ha promovido un crecimiento urbano no planificado,

especulativo, en muchos casos ilegal (invasiones de terreno) y disperso en el espacio.

- La Evaluación Ambiental Estratégica del plan Hidroviario propuso la elaboración de planes territoriales y aumento de capacidades de las instituciones vinculadas como medida para mitigar la ocupación informal de territorios y la expansión de ciudades. Para Yurimaguas, la formulación de los planes de desarrollo urbano y acondicionamiento territorial en 2015 se hizo y no fue suficiente para garantizar el manejo eficiente del suelo urbano. Básicamente, porque la implementación del plan en cuanto medidas de control del crecimiento urbano espacial fue muy limitada.
- Respecto a las métricas de cuantificación del grado de crecimiento urbano disperso: La métrica de Permeabilidad Urbana (UP) con un horizonte de percepción a 5 km podría perfectamente representar el crecimiento urbano disperso de Yurimaguas. A la métrica de Proliferación Urbana Ponderada (WUP) le falta calibrar las funciones de ponderación w_1 y w_2 a partir de próximas investigaciones. La métrica UP también fue desarrollada para cuantificar el crecimiento urbano disperso y está lista para usarse en otros casos peruanos, aunque no considere la densidad poblacional en su cálculo.
- A pesar de las falencias de la métrica de Proliferación Urbana Ponderada (WUP) en el caso de Yurimaguas, el enfoque de cuantificación del crecimiento urbano disperso (urban sprawl) es un apoyo en sí mismo por su conceptualización y directa aplicación de estrategias para disminuir el crecimiento urbano disperso. Jaeger y Schwick (2014) mencionan que, para disminuir el crecimiento urbano disperso, preferiblemente debe: 1) disminuir la cantidad de área edificada; cuando lo anterior no sea posible, 2) disminuir la dispersión de esta área edificada; y si esto último no fuera posible, 3) aumentar la utilización del suelo en términos de la densidad población. Esta forma directa de afrontar el crecimiento urbano disperso es una clara ventaja que esta investigación encuentra para su uso dentro de gestión pública. La operacionalización del problema de crecimiento urbano disperso (urban sprawl) en términos de indicadores cuantificables permite monitorearlos, tomar medidas de control, y evaluar el funcionamiento de estas.

RECOMENDACIONES

Esta sección, basado en los resultados de esta investigación, se ofrece las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda a ProInversión que las grandes inversiones en proyectos de infraestructura deben ser acompañados de estudios que vean su influencia en el desarrollo de las principales ciudades por las que pasan estos proyectos. Pudiendo ser estos: planes maestros (*master plan*), estudios de monitoreo de crecimiento urbano, modelamiento de cambio de cobertura de suelo, entre otros. Estos deberían ser requisitos fijados en los contratos de concesión. Los proyectos de inversión deben cumplir con brindar información preventiva a las ciudades (gobiernos locales) sobre los efectos a largo plazo en los que estas participarán.
- Se recomienda a ProInversión y MTC que formulen un Programa de Monitoreo de Crecimiento Urbano de ciudades circundantes a IIRSA. El Monitoreo de Crecimiento Urbano es una herramienta más directa para proveer de información a los tomadores de decisión, definir metas verificables usando métricas como Permeabilidad Urbana (UP), por ejemplo. Esta herramienta junto a acciones de Regulación y Manejo de suelo urbano puestas en práctica podrían ser parte de un programa de cuidado de las ciudades circundantes a los megaproyectos en los que participa el Perú (como es IIRSA), con medidas complementarias a la inversión en infraestructura, desde su concepción. Esto podría extenderse también a otros ministerios que trabajen con megaproyectos o proyectos de gran escala que se ubican cercanos a ciudades.
- Se recomienda a los formuladores de estudios de Evaluación Ambiental Estratégica proponer la elaboración de Monitoreos de Crecimiento Urbano frente a la posible expansión informal de ciudades, o aumento de la especulación del suelo, adicional a la formulación de Planes de Desarrollo Urbano y Acondicionamiento Territorial que usualmente proponen, pues la formulación de estos planes no garantiza el cumplimiento de ellos, ni facilita

la supervisión de los resultados esperados en suelo urbano. El monitoreo de crecimiento urbano podría complementar ese vacío.

- Se recomienda a los titulares de los grandes proyectos de infraestructura articular (junto a otros sectores) con los gobiernos locales que se ubican en las cercanías a los proyectos de inversión que promueven, para que el proyecto además de cumplir con su objetivo técnico puntual, pueda servir de impulso en las inversiones en otros sectores como saneamiento, y otros.
- Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Alto Amazonas (MPAA) implementar medidas que controlen el proceso de crecimiento urbano disperso identificado entre 2007-2022, a través de la implementación del PDU 2015-2025, y de la actualización de este instrumento. El suelo es un recurso limitado por lo que es necesario administrarlo de forma eficiente. Las medidas de control del crecimiento urbano deben de implementarse antes de las ejecuciones de los proyectos Hidrovía Amazónica, la segunda etapa del Terminal Portuario Yurimaguas-Nuevo Reforma; y sobre todo antes del Proyecto Integral de Agua y Alcantarillado para toda la ciudad de Yurimaguas, el cual está por ejecutarse, y cuyo efecto podría complicar más el crecimiento urbano disperso si no se toman acciones para el control del suelo urbano antes de la ejecución de este proyecto tan anhelado para la población.
- Se recomienda a la MPAA usar las estrategias de Jaeger y Schwick (2014), para disminuir el crecimiento urbano disperso dentro de la gestión pública. Mencionando que se debe: 1) disminuir la cantidad de área edificada; cuando lo anterior no sea posible, 2) disminuir la dispersión de esta área edificada; y si esto último no fuera posible, 3) aumentar la utilización del suelo en términos de la densidad población.
- Se recomienda a la MPAA continuar con el monitoreo de crecimiento urbano usando métricas espaciales, como herramienta para la supervisión de la implementación de medidas la gestión del suelo urbano.
- Se recomienda a la MPPA que promueva el patrón de crecimiento urbano de tipo relleno en las áreas adyacentes al cruce de la carretera Tarapoto-Yurimaguas y la nueva vía al puerto. Estas áreas están quedando relegadas en comparación a otras trayectorias de crecimiento urbano. Esto se puede hacer utilizando la función urbanizadora de una vía urbana, es decir, construir una carretera, paralela a la vía al puerto dentro de la zona urbana, promoverá la ocupación de las zonas que se desee urbanizar.

- Se recomienda a la MPAA que solicite proyectos de habilitaciones urbanas antes de permitir ocupaciones de forma dispersa y alejada de la actual ciudad de Yurimaguas. Asimismo, que propicien un desarrollo urbano compacto y usos mixtos en el área que comprende el cruce de vías nacionales y el borde actual de la ciudad de forma prioritaria.
- Se recomienda que la Municipalidad Provincial de Alto Amazonas capacitar al personal de la Gerencia de Desarrollo Urbano y Saneamiento, para la implementación del PDU 2015-2025 y busque asesoría técnica para operar un laboratorio urbano en Yurimaguas, de donde pueda generar soluciones a la variabilidad de calidad de lotización y acceso a servicios para cada asentamiento caso por caso.
- El proceso de crecimiento urbano disperso en Yurimaguas durante el ciclo de IIRSA (del 2000 en adelante) debe seguir estudiándose a mayor profundidad y sobre todo para hallar alternativas de regulación y manejo del suelo urbano apropiados, tal que la Municipalidad Provincial de Alto Amazonas (MPAA); y el Gobierno Regional de Loreto puedan accionar para la ciudad de Yurimaguas.
- Se recomienda elaborar otros monitoreo de crecimientos urbano en Yurimaguas de 2007 en adelante con una resolución temporal y espacial menores a 5 años y 30m, respectivamente; a fin de obtener mayores detalles de las áreas, trayectorias y tipos de patrones de crecimiento urbano en el proceso disperso identificado en el periodo 2007-2022.
- Se recomienda elaborar una evaluación de la precisión de la clasificación de cobertura de suelo como parte de los estudios de monitoreo de crecimiento urbano para mostrar el nivel de confianza del proceso de datos, más aún en programas de monitoreo de crecimiento urbano para las ciudades del Perú.
- Se recomienda a los planificadores e investigadores de ciudades realizar el monitoreo de crecimiento urbano usando datos de sensores remotos, SIG y la métrica de Permeabilidad Urbana (UP) con varios horizontes de percepción (2, 5 y 10 km) para describir la evolución espacial de las ciudades y también medir el grado de crecimiento urbano disperso (urban sprawl) en otras ciudades del Perú.
- Se recomienda a la MPAA hacer un monitoreo de cambio de cobertura de suelo en toda la provincia de Alto Amazonas para develar tendencias en la gestión de territorio, y proponer medidas de ordenamiento territorial.

- Se recomienda explorar con mayor extensión los cuatro ciclos económicos identificados: el ciclo del caucho (1880-1920), el ciclo del barbasco (1943-1960), el ciclo del petróleo (1970-1990), y el nuevo ciclo de IIRSA (2000-actualidad). Cada uno de ellos ayudaría a entender la dinámica actual de la ciudad de Yurimaguas, así como la provincia de Alto Amazonas.
- Se recomienda estudiar otros efectos del corredor IIRSA-Eje Amazonas, para poder develar los procesos económicos, sociales y ambientales a los que se sometería la Amazonía peruana; Estos estudios podrían hacerse, por ejemplo, desde enfoques de comercio exterior, crecimiento económico y cambio de cobertura de suelo, deforestación, entre otros. Esto con ánimos de tener una imagen completa del ciclo de IIRSA y así poder identificar estrategias y proponer medidas para el beneficio de la población local ante el desarrollo del corredor bioceánico, antes de su conclusión con la ejecución de la Hidrovía Amazónica.
- Se recomienda realizar estudios comparativos de monitoreo de crecimiento urbano de ciudades fluviales de intercambio modal de IIRSA, pudiendo ser estas: Yurimaguas, Pucallpa e Iquitos para comprender de forma más profunda el efecto de estos corredores de gran escala en ciudad fluviales, También, estudiar la ciudad de Saramiriza; dado que actualmente existe un proyecto de mejoramiento de vía a nivel de asfaltado hasta Saramiriza uniendo los departamentos de Amazonas y Loreto. Es decir, se encuentra en una etapa anterior a Yurimaguas, antes de la conexión.
- Se recomienda realizar estudios de monitoreo de crecimiento urbano ciudades donde el corredor de IIRSA termina o inicia, como Paita, Lima, Matarani e Ilo. Y también, se puede realizar estudios en ciudades intermedias del corredor IIRSA tal como Puerto Maldonado, donde debido al crecimiento urbano, se tiene un portafolio de proyectos tales como: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Drenaje Pluvial y Ampliación de Redes (a través del programa Grandes Ciudades), con un presupuesto estimado de 1000 millones de soles.
- Se recomienda explorar en el desarrollo de monitoreo de crecimiento urbano dentro de la plataforma Google Earth Engine, ya sea con el Editor de Código usando Javascript u otro API. Esta herramienta tiene gran potencial de uso masivo y abierto por su facilidad de compartir el código para otros casos de estudio.

- Se recomienda trabajar en métodos de clasificación que ayuden a obtener el área edificada, en lugar del área urbana total. Esto sería de ayuda pues las métricas de crecimiento urbano disperso propuestas por Jaeger et al usan área edificada. Asimismo, estos métodos de clasificación ayudarían a generar información a aquellas que ciudades que no cuentan con catastros urbanos actualizados.
- Se recomienda a la MPAA mejorar la gestión archivística del Archivo Municipal y Biblioteca Municipal para así poder usar textos académicos y documentos técnicos pasados en la toma de decisiones en la actualidad. Muchos de ellos son valiosos y las condiciones actuales de los locales y la administración del archivo y biblioteca podrían deteriorar estos documentos.
- Se recomienda a la MPAA promover una nueva edición actualizada del libro publicado por la municipalidad: "Yurimaguas, capital histórica de la Amazonía peruana. Yurimaguas, Loreto" publicada en 1989: Así como, otros textos académicos que ayuden a reconstruir la memoria de los hechos acontecidos en la provincia de Alto Amazonas.

A continuación, y modo de recomendación para la comunidad académica, se han identificado algunos trabajos de investigación futuros que podrían seguirse para completar las ausencias de conocimiento que ahora se presentan.

1. Estudio histórico espacial de los cambios urbano producidos durante el ciclo del petróleo en la región Amazónica, utilizando monitoreo de crecimiento urbano a escala regional.
2. Estudio correlacional entre el cambio de cobertura de suelo y el crecimiento económico en la provincia de Alto Amazonas durante el ciclo de IIRSA. Usando de referencia a la investigación de He et al (2014), el cual usa una ecuación estructural en ciudades de China. A fin de confirmar que el crecimiento económico generado por la inversión en infraestructura de IIRSA provocó, como causa principal, cambios en la cobertura de suelo.
3. Monitoreo de cambio de cobertura de suelo causado por el cultivo de palma aceitera y sus consecuencias en la fragmentación del paisaje usando métricas espaciales en la provincia de Alto Amazonas.
4. Estudio de evaluación de impacto ambiental ex post del proyecto "Construcción de la Vía de Acceso Terrestre al Terminal Portuario de Yurimaguas" para identificar lecciones aprendidas en la formulación de EIA-d

- de carreteras y definición de estrategias de manejo ambiental en zonas cercanas a ciudades.
5. Estudio de densidad urbanas brutas de las ciudades con población mayor a 100,000 hab. De este estudio, se obtendrá el valor de densidad urbana objetivo al que las ciudades deben aspirar en Perú. En Suiza se tiene un valor de 45hab-trabajos/Ha como densidad mínima en áreas urbanas y está inscrito en el plan nacional de desarrollo sostenible 2012-2015.
 6. Estudio para la calibración de la función de ponderación w_2 para la métrica Proliferación Urbana Ponderada (WUP) en el Perú.
 7. Estudio longitudinal del crecimiento urbano disperso en ciudades de Perú con población mayor a 100,000 habitantes utilizando la métrica Proliferación Urbana Ponderada (WUP) calibrada. Con ello, poder definir patrones de crecimiento urbano disperso que ocurren en nuestro país y así contribuir a una definición de crecimiento urbano disperso y un método de cuantificación más apropiado a nuestra realidad. La definición conceptual de crecimiento urbano disperso (urban sprawl) es un tema problemático, reiterativo y necesario.
 8. Estudio de crecimiento urbano vertical en la frontera con el agua en ciudades fluviales.
 9. Estudios de la relación puerto-ciudad en Yurimaguas.
 10. Monitoreo de crecimiento urbano durante el desarrollo de infraestructura de gran escala en las ciudades de Pucallpa e Iquitos. Y con ello, hacer un estudio comparativo de las tres ciudades fluviales, junto a Yurimaguas.
 11. Modelamiento urbano de escenarios de crecimiento urbano de Yurimaguas 2022-2042 frente a la ejecución de proyectos de gran escala: Hidrovía Amazónica, Proyecto Integral de Agua y Alcantarillado para Yurimaguas. Para ello se puede usar modelos de autómatas celulares o modelos basados en agentes. Pudiéndose utilizar herramientas como SLEUTH o NetLogo.
 12. Basado en los resultados anteriores, se puede utilizar modelos urbanos para anticiparse a los cambios de la ciudad de Saramiriza que también es un punto intermodal de corredor IIRSA-Eje Amazonas. Actualmente existe un proyecto de mejoramiento de vía a nivel de asfaltado hasta Saramiriza uniendo los departamentos de Amazonas y Loreto. a través de la modalidad de Gobierno a Gobierno, a cargo de Japón, por un monto estimado de 1000 millones de soles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Peruana de Noticias *ANDINA*. (2019, 17 de junio). MTC empieza proceso para modernizar el terminal portuario de Pucallpa. *ANDINA*. <https://andina.pe/agencia/noticia-mtc-empieza-proceso-para-modernizar-terminal-portuario-pucallpa-756920.aspx>
- Alemán, J., y Muñoz, F. (2019). *Investigación en la determinación de los niveles de servicio de la carretera concesionada IIRSA Norte, tramo Cavico-Bagua Grande*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Alicia. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPAO_2fc3e3a4f3b5e65f4bc18378360397a7
- Alonso, W. (1964). *Location and land use: Toward a general theory of land rent*. Harvard University Press.
- Alvarez, A. (2015). *En busca de la memoria perdida: Fritz y la fundación de Yurimaguas*. La Región.
- Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S.M., Moghaddam, S.H.A, Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., Brisco, B. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326-5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>
- Anas, A., y Moses, L. N. (1979). Mode choice, transport structure and urban land use. *Journal of Urban Economics*, 6(2), 228–246.
- Bara, P., Sanchez, R., y Wilmsmeier, G. (2007). *Amazonía. Hacia un desarrollo sustentable e integrado*. Cooperación Andina de Fomento (CAF). <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/405>
- Barrantes, R., y Glave, M. (2014). *Amazonía peruana y desarrollo Económico*. Instituto de Estudios Peruanos y Grupo de Análisis para el Desarrollo. <https://repositorio.iep.org.pe/items/c7248aef-3ba8-452a-82bd-9e5c87224cb9>
- Baum-Snow, N. (2007). Did highways cause suburbanization? *The Quarterly Journal of Economics*, 122, 775–805.
- Bhatta, B. (2010). *Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data*. Springer.

- Bhatta, B. (2012). *Urban Growth Analysis and Remote Sensing: A Case Study of Kolkata, India 1980–2010*. Springer.
- Calderón, J. (2020). Los estudios urbanos en el Perú, 1990-2021. *Investiga Territorios* (12), 11-17.
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/investigaterritorios/article/view/26229>
- Chiarella, R. (2011). Redes y territorio: La iniciativa IIRSA en foco. *Espacio y Desarrollo* (23), 5-29.
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/2885>
- Chocña, M. (2022). *Vigilancia de la deforestación en el sector Matahuayo – Tahuayo (Loreto), usando imágenes de los sensores TM, ETM+, OLI en el periodo 2007 - 2015*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos] Repositorio Institucional UNMSM.
<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/19217>
- Chou, Y. H. (1995). Spatial pattern and spatial autocorrelation. En A. U. Frank, y W. Kuhn (Eds), *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS* (pp. 365-376). Springer.
- Centro de Investigación y Tecnología del Agua. (2019). *Mejores prácticas para el estudio de los ríos amazónicos frente al desarrollo de infraestructura. Caso EIA-d Hidrovía Amazónico*. Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA) de la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC).
- Comisión Nacional contra la Biopiratería. (2015). *Barbasco*. Repositorio INDECOPI. <https://repositorio.indecopi.gob.pe/handle/11724/4359>
- Congedo, L. (2023, 10 de agosto). *Accuracy Assessment of a Land Cover Classification* [Video] Youtube
<https://www.youtube.com/watch?v=H1cL0yhlygg>
- Consorcio EIH-H&O Ingenieros. (2010). *Estudio de Factibilidad "Mejoramiento y mantenimiento de las condiciones de navegabilidad en los ríos Huallaga, Ucayali, Marañón y Amazonas*. Agencia de Promoción de la Inversión Privada del Ministerio de Economía y Finanzas.
- Consorcio SERMAN & Asociados S.A. - CSI ingenieros S.A. - ECSA ingenieros S.A. (2014). *Evaluación Ambiental y Social con Carácter Estratégico del área de influencia del Plan Hidroviario Comercial Peruano*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

- Consortio SERMAN & Asociados S.A. - CSI ingenieros S.A. - ECSA ingenieros S.A. (2014). *Plan Hidroviario del Sistema Fluvial Comercial Peruano*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
- COSIPLAN. (2017a). *Informe de la Cartera de Proyectos del COSIPLAN 2017*. COSIPLAN-UNASUR. <https://www.iirsa.org/Document/Detail?id=4621>
- COSIPLAN. (2017b). *Sistema de información de proyectos*. COSIPLAN-UNASUR. <http://cosiplan.org/proyectos/>
- Cristaldo, J. (2013). *Continental Hub: A prospective reflection upon infrastructure, energy and territorial transformations at the Triple Frontier*. Harvard Graduate School of Design - GSD. Harvard University.
- Cristaldo, J. y Silvero, L. (2013). Maps of our shared territory. *ADU 2020 Conference 2013. Innovation and Diversity: Challenges and Opportunities in Architecture, Design and Urbanism*. 1-20.
- Cristaldo, J., y Lezcano, A. (2021). *Infraestructura y Transformaciones territoriales en el mundo. Implementación, gobernanza, articulación, resistencia, impactos*. Facultad de Arquitectura, Diseño y Arte de la Universidad Nacional de Asunción. https://issuu.com/60py14_vol0/docs/vol_0_60py14
- Dedios, N. (2009). Análisis espacial del comportamiento fenológico de la vegetación en la cuenca del río Chira usando imágenes de alta resolución espectral. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 1, 20-34. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1081>
- ECSA Ingenieros SA. (2019). *Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto "Hidrovía Amazónica: ríos Marañón y Amazonas, tramo Saramiriza-Iquitos-Santa rosa; río Huallaga, tramo Yurimaguas-confluencia con el río*. COHIDRO Concesionaria Hidrovía Amazónica S.A.
- Erazo, M. (2014). *Interacción entre los factores regionales que limitaron el proyecto de integración sudamericana impulsado por Brasil durante la primera década del siglo XXI*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú] Repositorio Institucional PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5638>
- Espinoza, A., y Fort, R. (2020). *Mapeo y tipología de la expansión urbana en el Perú*. Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE) y Asociación de Desarrolladoras Inmobiliarias (ADI). https://www.grade.org.pe/wp-content/uploads/EspinozaFort_GRADEADI_expansionurbana.pdf

- ESRI. (2022). Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover Time Series. [Base de datos]
<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=cfc7609de5f478eb7666240902d4d3d>
- Fabbro, S. (Ed.) (2015). *Mega Transport Infrastructure Planning. European Corridors in Local-Regional Perspective*. Springer.
- Fernandez, J. (Director). (2015). *Sucedió en el Perú (TV Perú) - Iquitos y la Amazonía* [Documental]. TV Perú.
<https://www.youtube.com/watch?v=qBz9THTMAaM>
- Flyvbjerg, B. (2014). What you should know about megaprojects and Why: An Overview. *Project Management Journal*, 45(2), 6-19.
- Flyvbjerg, B., Bruzelius, N., y Rothengatter, W. (2003). *Megaprojects and risk: An anatomy of ambition*. Cambridge University Press.
- García-López, M. A. (2019). All roads lead to Rome ... and to sprawl? Evidence from European cities. *Regional Science and Urban Economics*, 79.
- Gastelo, J. (2018). *El planeamiento estratégico como herramienta para la eficiencia del sistema hidroviario en la Amazonía peruana, propuesta actual*. [tesis de doctorado, Universidad Nacional Federico Villareal] Repositorio Institucional UNFV.
<https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2306?show=full>
- GEE. (2022, 12 de noviembre). *Landsat Algorithms Guides*. Google Earth Engine.
<https://developers.google.com/earth-engine/guides/landsat#landsat-collection-structure>
- Gomez, H. (2003). América del Sur: la gran mercancía. Geopolítica de la región Amazónica. *Geopolítica de la región Amazónica*, 65-84.
<https://www.sogeocol.edu.co/documentos/12geop.pdf>
- Graham, S., y Simon, M. (2001). *Splintering Urbanism. Networked infrastructures, technological mobilities and the urban condition*. Taylor & Francis.
- Guzmán, M. (2014). *Análisis de seguridad vial de las zonas pobladas de cuatro tramos de la carretera IIRSA Norte*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura] Repositorio Institucional Universidad de Piura.
<https://pirhua.udep.edu.pe/items/4c6eb00d-3ff6-4948-b4fb-640b805a8135>
- Hardin, P., Jackson, M., y Otterstrom, S. (2007). Mapping, Measuring, and Modeling Urban Growth. En J. G. R.R. Jensen, *Geo-Spatial Technologies in Urban Environments* (pp. 141–176). Springer.

- He, C., Huang, Z., y Wang, R. (2014). Land use change and economic growth in urban China: A structural equation analysis. *Urban Studies Journal*, 51(13), 2880–2898.
- Herold, M., Couclelis, H., y Clarke, K. (2005). The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29 (4), 369–399.
- INDECONSULT. (2009). *Plan de Desarrollo Urbano de Pucallpa*. EUDORA. https://eudora.vivienda.gob.pe/observatorio/PDU_MUNICIPALIDADES/PUCALLPA/PDU_PUCALLPA_CAPITULO_1.pdf
- Instituto para el Desarrollo de los Servicios Urbanos y Locales de la Universidad Nacional de Ingeniería (IDESUNI). (2001). *Plan Operativo Urbano de Yurimaguas*. Municipalidad Provincial de Alto Amazonas.
- IIRSA NORTE. (s.f.). *Concesionaria - Nosotros*. IIRSA NORTE. <https://www.iirsanorte.com.pe/concesionaria/#proyecto>
- Instituto Nacional de Desarrollo Urbano (INADUR). (1985). *Plan Director de Yurimaguas*. Municipalidad Provincial de Alto Amazonas.
- Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. (2015). *Zonificación Ecológica y Económica - ZEE de la Provincia Alto Amazonas. Departamento de Loreto*. Gobierno Regional de Loreto (GOREL), Municipalidad Provincial de Alto Amazonas. <http://terra.iiap.gob.pe/mesozee-alto-amazonas.html>
- Jaeger, J. (2000). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 15, 115-130.
- Jaeger, J., Bertiller, R., Schwick, C., Cavens, D., y Kienast, F. (2010). Urban permeation of landscapes and sprawl per capita: New measures of urban sprawl. *Ecological Indicators*, 10 (2), 427-441.
- Jaeger, J., Bertiller, R., Schwick, C., y Kienast, F. (2010). Suitability criteria for measures of urban sprawl. *Ecological Indicators*, 10 (2), 397-406.
- Jaeger, J., y Schwick, C. (2014). Improving the measurement of urban sprawl: Weighted Urban Proliferation (WUP) and its application to Switzerland. *Ecological Indicators*, 38, 294-308.
- Jaimes, J. (2023). *Aplicación de técnicas de machine learning e imágenes de radar para la detección temprana de invasiones en zonas de alto riesgo de desastres*. [tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].

- Repositorio Institucional PUCP.
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/26510>
- Jauregui, A. (1946). *En la Amazonía Peruana: Las primicias de una misión pasionista en el 25 aniversario de su fundación*. Vicariato Apostólico San Gabriel del Marañón.
- Jung, M. (2016). LecoS — A python plugin for automated landscape ecology analysis. *Ecological Informatics*, 31, 18-21.
- Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J., Mathis, M., y Brumby, S. (2021). Global land use / land cover with Sentinel 2 and deep learning. En Miralles, D., Persello, C., Beenen, K. (Eds) *IGARSS 2021 - 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 4704-4707).
- Limachi, L., y Grandez, R. (2013). *Zonificación Ecológica y Económica de la Provincia de Alto Amazonas. Informe temático de Socioeconomía*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) y Gobierno Regional de Loreto (GOREL).
- Linares, D. (2019). *La Evaluación Ambiental Estratégica en la planificación de proyectos hidroviarios en la cuenca Amazónica: Lecciones desde el caso Proyecto Hidrovía Amazónica*. Derecho, Ambiente y Recursos Naturales. https://www.dar.org.pe/wp-content/uploads/2020/07/analisis_EAETransporte.pdf
- Lozano, V. (2019, 19 de noviembre). Apuntes de clases de Evaluación de Impacto Ambiental en la FIC UNI [diapositivas Powerpoint]. SCRIBD.
- Lungo, M. (2001). Urban Sprawl and Land Regulation in Latin America. *Land Lines*, 7-8. <https://www.lincolninst.edu/publications/articles/urban-sprawl-land-regulation-latin-america/>
- Malaspina, O. (2013). *Urbanizations in contemporary hydraulic landscapes. Planning Challenges in addressing irrigation megaprojects. Case study in the north of Peru*. Harvard Graduate School of Design- GSD. Harvard University.
- Manzi, G. (2014). *Os rios e as cidades: Estudo da hidrovía Paraguai-Paraná-Prata e o espaço urbano circundante*. [tesis de maestría, Universidade de Sao Paulo]. Biblioteca Digital USP. <https://doi.org/10.11606/D.16.2014.tde-30072014-094633>
- Marshall, T. (2013). *Planning Major Infrastructure, A critical analysis*. Roudledge.

- Martinez, H. (1983). Los Estudios acerca de la migración y ocupación selvática peruana. *Amazonía Peruana*, 5 (9), 7-21. Centro Amazónico de Antropología y Aplicación Práctica (CAAP). <https://doi.org/10.52980/revistaamazonaperuana.vi9.206>
- McGarigal, K., y Marks, B. (1995). *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis Program for Quantifying Landscape Structure (Technical Report PNW-GTR-351)*. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. https://www.fs.usda.gov/pnw/pubs/pnw_gtr351.pdf
- McKinsey Global Institute. (2017). Bridging infrastructure gaps: Has the world made progress? <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/bridging-infrastructure-gaps-has-the-world-made-progress>
- Mills, E. S. (1967). An Aggregative Model of Resource Allocation in a Metropolitan Area. *The American Economic Review*, 57 (2), 197-210. https://legacy.econ.tuwien.ac.at/hanappi/AgeSo/rp/Mills_1967.pdf
- Mills, E. S. (1972). *Studies in the structure of the urban economy*. John Hopkins Press.
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (2019). *Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad*. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_privada/planes/PNIC_2019.pdf
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2022). *Decreto Supremo N° 242-2022-EF. Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad (PNISC) 2022 – 2025* Diario Oficial El Peruano 24 de octubre de 2022. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_privada/planes/PNISC_2022_2025_V2.pdf
- Ministerio de Energía y Minas. (2016). Estudio del Potencial Eólico del Perú [base de datos]. GEOIDEP. <https://www.geoidep.gob.pe/servicios-idep/servicios-de-visualizacion-wms>
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Ley del Sistema Nacional de Evaluación Ambiental y su Reglamento*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/Ley-y-reglamento-del-SEIA1.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Plan de Desarrollo de los Servicios Logísticos de Transporte. Plan de Mediano y Largo Plazo (PMLP)*. Banco Interamericano de Desarrollo, Transparencia MTC.

- http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/Resoluciones_Viceministeriales/13412.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2019). *Resolución Ministerial 1071-2019 MTC/01*. Plataforma del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/357015-1071-2019-mtc-01>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). Decreto Supremo N° 022-2016-VIVIENDA. *Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano Sostenible*. Diario Oficial El Peruano 22 de diciembre de 2016. <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1466636-3>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2022). *Decreto Supremo N° 012-2022-VIVIENDA*. *Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Planificación Urbana del Desarrollo Urbano Sostenible*. Diario Oficial El Peruano 04 de octubre de 2022. <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2112560-6>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2023, mayo). *Programa Nacional de Saneamiento Urbano. Ministerio de Vivienda firma convenio con Municipalidad Provincial de Alto Amazonas*. Plataforma digital única del Estado peruano. <https://www.gob.pe/institucion/pnsu/noticias/757892-ministerio-de-vivienda-firma-convenio-con-municipalidad-provincial-de-alto-amazonas>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2023). *Resolución Ministerial N° 514-2023-VIVIENDA*. *Autorizan las Transferencias Financieras a favor de trece (13) empresas prestadoras de servicio de saneamiento, para financiar la ejecución y/o supervisión de veinte (20) inversiones en materia de agua y saneamiento en el ámbito urbano*. Diario Oficial El Peruano 23 de noviembre de 2023. https://busquedas.elperuano.pe/api/visor_html/2238235-1
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y Municipalidad Provincial de Amazonas. (2015). *Plan de Desarrollo Urbano de Yurimaguas 2015-2025*. Municipalidad Provincial de Amazonas.
- Morales, C., y Soplín, J. (2014). *El transporte fluvial y la navegabilidad de los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú]. Repositorio Institucional RCP. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/128>

- Muth, R. (1969). *Cities and housing: The spatial pattern of urban residential land use*. Chicago University Press.
- NASA Jet Propulsion Laboratory. (2020). NASADEM Merged DEM Global 1 arc second (30m) V001 [Base de datos]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. https://lpdaac.usgs.gov/products/nasadem_hgtv001/
- Nazarnia, N., Harding, C., y Jaeger, J. (2019). How suitable is entropy as a measure of urban sprawl? *Landscape and Urban Planning*, 184, 32–43.
- Nazarnia, N., Schwick, C., Kopecky, M., Soukup, T., Orlitova, E., Kienast, F., y Jaeger, J. A. (08 de Setiembre de 2016). *Urban Sprawl Metrics (USM) Tool/set*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL. <https://www.wsl.ch/en/services-produkte/urban-sprawl-metrics-tool-usm/>
- Nechyba, T., y Walsh, R. (2004). Urban Sprawl. *Journal of Economic Perspectives*, 18 (4), 177–200. Technische Universität Wien https://legacy.econ.tuwien.ac.at/hanappi/AgeSo/rp/Nechyba_2004.pdf
- Noblecilla, M. (2019). *Impacto de la fragmentación de hábitats en la diversidad de roedores cricétidos en los bosques montanos de Huánuco* [tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional UNMSM. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10586>
- Olofsson, P., Foody, G., Herold, M., Stehman, S., Woodcock, C., y Wulder, M. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57.
- Organización de Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenibles: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Repositorio Institucional CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>
- ONU Habitat. (2017). *Nueva Agenda Urbana*. Organización de Naciones Unidas, Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. <https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Spanish.pdf>
- Organismo Supervisor de Transporte (OSITRAN) (2018a). *Ficha de contrato de concesión. Concesionario: Concesionaria Hidrovía Amazónica S.A.*

- Hidrovia Amazónica*. https://www.ositran.gob.pe/anterior/wp-content/uploads/2018/11/Ficha_COHIDRO_2018.pdf
- Organismo Supervisor de Transporte (OSITRAN) (2018b). *Ficha de contrato de concesión. Concesionario: Concesionaria Puerto Amazonas S.A. Nuevo Terminal Portuario de Yurimaguas – Nueva Reforma*. https://www.ositran.gob.pe/anterior/wp-content/uploads/2017/12/Ficha_Yurimaguas.pdf
- Organismo Supervisor de Transporte (OSITRAN). (2022). *Ficha de contrato de concesión. Concesionario: Concesionaria IIRSA Norte S.A. Carretera: Eje Multimodal Amazonas Norte*. <https://www.ositran.gob.pe/anterior/wp-content/uploads/2022/05/ficha-contrato-iirsa-norte-2022.pdf>
- Pratama, A., Yudhistira, M., y Koomen, E. (2022). Highway expansion and urban sprawl in the Jakarta Metropolitan Area. *Land Use Policy*, 112.
- ProInversión. (2015). *Contrato de Concesión de “HIDROVIA AMAZONICA: ríos Marañón y Amazonas, tramo Saramiriza – Iquitos – Santa Rosa; río Huallaga, tramo Yurimaguas – Confluencia con el río Marañón; río Ucayali, tramo Pucallpa – confluencia con el río Marañón”*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
- ProInversión. (2023). *Portafolio de proyectos de ProInversión*. <https://www.investinperu.pe/es/app/portafolio-de-proyectos>
- Ramos, G. (2023). *Las visiones de transformación del territorio hidrosocial en la cuenca baja del río Huallaga en un contexto de integración regional: caso del Proyecto Hidrovia Amazónica* [tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/22588>
- Redwood, J. (2012). *The Environmental and Social Impacts of Major IDB-Financed Road Improvement Projects: The Interoceanica IIRSA Sur and IIRSA Norte Highways in Peru*. Inter-American Development Bank (IDB). <http://dx.doi.org/10.18235/0009055>
- Rojas, J. (2017). *Estimación de la variabilidad espacial y temporal de la deforestación por minería aurífera aluvial en la Quebrada Guacamayo, utilizando el método de segmentación por umbrales a partir de imágenes de satélite* [tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional UNMSM.

- <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/146acbc0-84d2-4990-bbdc-0e3e592db026>
- Rubin de Celis, E. (2019). *Modelos de clasificación para detección del cambio de uso de la tierra en la Amazonia Peruana* [tesis de maestría, Universidade Federal do Paraná] Repositorio Institucional UFPR. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/69168>
- Rumrill, R., Dávila, C., y Barcía, F. (1986). *Yurimaguas, capital histórica de la Amazonía Peruana*. Municipalidad Provincial de alto Amazonas.
- San Roman, J. (1994). *Perfiles históricos de la Amazonía peruana*. Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP). <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/L009.pdf>
- Santa, R. (2005). *La iniciativa IIRSA: Visión Estratégica de la Integración Física de América del Sur*. PALESTRA: Portal de Asuntos Públicos de la PUCP. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/11894>
- Sapena, M., y Ruiz, L. (2019). Analysis of land use/land cover spatio-temporal metrics and population dynamics for urban growth characterization. *Computers, Environment and Urban Systems*, 73, 27-39.
- Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE). (2019a). *Ayuda Memoria del proyecto Hidrovia Amazonica*. <https://www.senace.gob.pe/wp-content/uploads/filebase/comunicaciones/eia-meia/hidrovia-amazonica/AM-Hidrovia.pdf>
- Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE). (2019b). *Catálogo del registro administrativo de Certificaciones Ambientales, Estudios en el Registro por Regiones*. <https://www.senace.gob.pe/wp-content/uploads/2019/07/RCA-Loreto.pdf>
- Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles. (2019c). *Informe de observaciones al Estudio de Impacto Ambiental Detallado del Proyecto “Hidrovia Amazónica: río Marañón y Amazonas, tramo Saramiza – Iquitos – Santa Rosa; río Huallaga, Tramo Yurimaguas – confluencia del Río Marañón, Río Ucayali, tramo Pucallpa – confluencia río Marañón; río Ucayali, tramo Pucallpa-confluencia con el río Marañón”, presentado por Concesionaria Hidrovia Amazónica S.A. (N° 00737-2019-SENACE-PE/DEIN)*. Dirección de Evaluación Ambiental para Proyectos de Infraestructura de SENACE.

- Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles. (2020). *Resolución Directoral N° 00006-2020-SENACE-PE/DEIN*. SENACE. <https://www.senace.gob.pe/download/comunicaciones/eia-meia/hidrovia-amazonica/Resolucion-Directoral-00006-2020-SENACE-PE-DEIN.pdf>
- Seto, K., y Fragkias, M. (2005). Quantifying spatiotemporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time series metrics. *Landscape Ecology*, 20, 871–888.
- Shi, Y., Zhou, L., Guo, X., y Li, J. (2023). The multidimensional measurement method of urban sprawl and its empirical analysis in Shanghai Metropolitan Area. *Sustainability*, 15 (2). <https://doi.org/10.3390/su15021020>
- Silva, F. (1980). *Historia del Perú. Procesos e instituciones* (Tomo XII). Editorial Juan Mejía Baca.
- Stutz, D. (2013). *Alps as process: Engaging montane switzerland as an operating urban ecology*. ISSUU. https://issuu.com/daiapaco/docs/alpsasprocess_issuu
- Thurston, J., Poiker, T., y Moore, P. (2003). *Integrated Geospatial Technologies: A Guide to GPS, GIS, and Data Logging*. John Wiley & Sons Inc.
- Torres, D. (2016). *Lima: Titulación de tierras sin ciudad, del bien colectivo al privado. La organización social como promotor urbano frente al fracaso de la Política Nacional de Formalización (1996-2015)* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile]. Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales. <https://estudiosurbanos.uc.cl/wp-content/uploads/2016/11/TESIS-DTO.pdf>
- Tso, B., y Mather, P. (2009). *Classification Methods for Remotely sensed data*. Taylor & Francis Group.
- United States Geological Survey. (s.f.). *Landsat Satellite Missions*. USGS. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>
- Valdes, J., y Parimbelli, M. (2013). *Eje del Amazonas ampliado. Ejes de Integración: Elementos para desarrollo sostenible del territorio*. XXIII Reunión de Coordinadores Nacionales COSIPLAN-IIRSA. Anexo 6. http://www.iirsa.org/admin_iirsa_web/Uploads/Documents/cnr23_santiago13_informe_final_amazonas_ampliado.pdf

Wilson, E., Hurd, J., Civco, D., Prisloe, M., y Arnold, C. (2003). Development of a geospatial model to quantify, describe and map urban growth. *Remote Sensing of Environment*, 275 – 285.

Zembri-Mary. (2019). *Project Risks. Actions around uncertainty in Urban Planning and Infrastructure Development*. WILEY.

Zhang, L., Shu, X., y Zhang, L. (2023). Urban Sprawl and Its Multidimensional and Multiscale Measurement. *Land*, 12, 1-17.
<https://doi.org/10.3390/land12030630>

ANEXOS

Anexo 1.	Matriz de consistencia de la investigación	1
Anexo 2.	Script para la descarga de imágenes satelitales y datos de elevación de la zona de estudio	2
Anexo 3.	Matrices de error de las clasificaciones urbano-no urbano resultantes de la evaluación de precisión.....	9

Anexo 1: Matriz de consistencia

TITULO: "Monitoreo de crecimiento urbano durante el desarrollo de infraestructura de gran escala en la Amazonia peruana. El caso de Yurimaguas"

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES, INDICADORES	MÉTODO
<p>Problema principal:</p> <p>¿Cómo cambian los patrones de crecimiento urbano de una ciudad fluvial en la Amazonía peruana durante el desarrollo de infraestructura de gran escala de IIRSA?</p> <p>Problemas específicos:</p> <p>¿Cómo influyeron los ciclos económicos-productivos en el crecimiento urbano de Yurimaguas a lo largo de su historia reciente (1880-1999)?</p> <p>¿Cómo ha crecido la ciudad de Yurimaguas durante el ciclo de desarrollo de infraestructura IIRSA (1992-2022)?</p> <p>¿Cuánto han cambiado los patrones espaciales de la ciudad de Yurimaguas durante el ciclo de desarrollo de infraestructura IIRSA (1992-2022)?</p>	<p>Objetivo principal:</p> <p>Describir el proceso de cambio en el crecimiento urbano de una ciudad fluvial (Yurimaguas) durante el desarrollo del corredor IIRSA- Eje Amazonas (el punto intermodal) usando un monitoreo espacio-temporal de la cobertura de suelo.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <p>Describir los cambios en el área urbana durante los ciclos económicos-productivos en Yurimaguas (1880-1999) a partir de una revisión documental.</p> <p>Detectar el crecimiento urbano de Yurimaguas en el ciclo de desarrollo de infraestructura IIRSA (1992-2022) usando datos de sensores remotos y SIG.</p> <p>Analizar los patrones espaciales del crecimiento urbano de Yurimaguas en el ciclo de desarrollo de infraestructura IIRSA (1992-2022) usando métricas espaciales.</p>	<p>Hipótesis principal:</p> <p>Durante el desarrollo de infraestructura de gran escala de IIRSA, el grado de crecimiento urbano disperso (urban sprawl) de Yurimaguas se incrementó, con patrón de rama lineal circundante a la infraestructura de gran escala.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>Los ciclos económicos-productivos produjeron crecimiento urbano de Yurimaguas.</p> <p>Durante el desarrollo de infraestructura IIRSA, el patrón más frecuente de crecimiento urbano es el de ramal lineal a lo largo del corredor</p> <p>Durante el desarrollo de infraestructura de IIRSA, el crecimiento urbano relativo entre 2002-2022 aumentó un 100% en área urbana total y un 50% en grado de crecimiento urbano disperso (urban sprawl).</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>X. Cobertura de suelo</p> <p>X.1 Cobertura de suelo urbana</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Y: crecimiento urbano</p> <p>Y.1 Métrica del patrón de crecimiento urbano disperso (UP y WUP) de áreas urbanas cada 5 años.</p>	<p>Investigación aplicada, cuantitativa.</p> <p>Población de investigación: Área urbana de Yurimaguas.</p> <p>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</p> <p>Supuesto filosófico: Postpositivismo</p> <p>Diseño de investigación: Diseño cuantitativo del tipo diseño experimental</p> <p>Métodos de Investigación:</p> <p>-Método para recolectar: datos georreferenciados e imágenes satelitales.</p> <p>- Método para analizar: Monitoreo espacio-temporal de crecimiento urbano. Detección de cambios urbano en 6 periodos:</p> <p>- Método para interpretar la información:</p> <p>Métricas espaciales: Permeabilidad Urbana (UP) y Proliferación Urbana Ponderada (WUP)</p> <p>Técnicas de investigación: SIG, Sensores Remotos, Análisis espacial</p>

Anexo 2

Script para la descarga de imágenes satelitales y datos de elevación de la zona de estudio.

```
var geometry =
  /* color: #d63000 */
  /* shown: false */
  /* displayProperties: [
    {
      "type": "rectangle"
    }
  ] */
  ee.Geometry.Polygon(
    [[[-76.17808286441037, -5.839936963873871],
      [-76.17808286441037, -5.934535766847375],
      [-76.06787626040646, -5.934535766847375],
      [-76.06787626040646, -5.839936963873871]]], null, false);

//Monitoreo de Crecimiento Urbano de una ciudad.
//Script de descarga de imágenes satelitales para Landsat 5,y 8.
//Resolución px=30m; Resolución temporal= cada 5 años (1997-2002-2022)
//El script adquiere la imagen, la filtra y luego la exporta a Google Drive sin banda BQA

//1.- ADQUISICIÓN DE IMAGENES
//las imagenes adquiridas deben cumplir ciertas condiciones (filtros) de fechas,
//de contacto con el área de estudio y de cobertura de nubes menor al 20%,
//Imprimir de qué rango de fechas es la imagen encontró.

//Imagen Landsat 5, años disponibles 1984 al 2012 - 1992
var IMGLandsat5= ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C02/T1')
  .filterDate ('1992-07-01', '1992-08-23')
  .filterBounds (geometry)
  .filterMetadata ('CLOUD_COVER', 'Less_Than', 20);
print ('Collection 1992',IMGLandsat5);

var Landsat5Filtro = ee.Image(IMGLandsat5.median());

var range = IMGLandsat5.reduceColumns(ee.Reducer.minMax(), ['system:time_start']);
print('rango de fechas de la colección 1992: ', ee.Date(range.get('min')), ee.Date(range.get('max')));
```

```

//print ('Cual es el ID de la imagen',Lan.get('DATE_ACQUIRED'));

var Landsat5Clip = Landsat5Filtro.clip (geometry);
Map.addLayer(Landsat5Clip, {
  min: 0.0,

  gamma: 1.0,
  bands:['B4','B3','B2']},
  'IMAGEN LANDSAT 1992'
);
Export.image.toDrive({
  image: Landsat5Clip.select("B1", "B2", "B3", "B4", "B5", "B6", "B7"),
  description: 'Yurimaguas_Landsat5_30m_1992_set03Oct23',
  folder:'Descarga_GEE_Yurimaguas',
  scale: 30,
  region: geometry,
  crs:'EPSG:32718'});

//Imagen Landsat 5, años disponibles 1984 al 2012 - 1997
var IMGLandsat5= ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C02/T1')
  .filterDate ('1997-09-01', '1997-12-30')
  .filterBounds (geometry)
  .filterMetadata ('CLOUD_COVER', 'Less_Than', 20);
print ('Collection 1997',IMGLandsat5);

var Landsat5Filtro = ee.Image(IMGLandsat5.median());

var range = IMGLandsat5.reduceColumns(ee.Reducer.minMax(), ['system:time_start']);
print('rango de fechas de la colección 1997: ', ee.Date(range.get('min')), ee.Date(range.get('max')));

//print ('Cual es el ID de la imagen',Lan.get('DATE_ACQUIRED'));

var Landsat5Clip = Landsat5Filtro.clip (geometry);
Map.addLayer(Landsat5Clip, {
  min: 0.0,

  gamma: 1.0,
  bands:['B4','B3','B2']},

```

```

'IMAGEN LANDSAT 1997'
);
Export.image.toDrive({
  image: Landsat5Clip.select("B1", "B2", "B3", "B4", "B5", "B6", "B7"),
  description: 'Yurimaguas_Landsat5_30m_1997_set31Oct02',
  folder:'Descarga_GEE_Yurimaguas',
  scale: 30,
  region: geometry,
  crs:'EPSG:32718'});

//Imagen Landsat 5, años disponibles 1984 al 2012 - 2002
var IMGLandsat5= ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C02/T1')
  .filterDate ('2001-12-10', '2002-10-22')
  .filterBounds (geometry)
  .filterMetadata ('CLOUD_COVER', 'Less_Than', 20);
print ('Collection 2002',IMGLandsat5);

var Landsat5Filtro = ee.Image(IMGLandsat5.median());

var range = IMGLandsat5.reduceColumns(ee.Reducer.minMax(), ['system:time_start']);
print('rango de fechas de la colección 2002: ', ee.Date(range.get('min')), ee.Date(range.get('max')));

//print ('Cual es el ID de la imagen',Lan.get('DATE_ACQUIRED'));

var Landsat5Clip = Landsat5Filtro.clip (geometry);
Map.addLayer(Landsat5Clip, {
  min: 0.0,

  gamma: 1.0,
  bands:['B4','B3','B2']},
'IMAGEN LANDSAT 2002'
);
Export.image.toDrive({
  image: Landsat5Clip.select("B1", "B2", "B3", "B4", "B5", "B6", "B7"),
  description: 'Yurimaguas_Landsat5_30m_2002_Dic01Oct02',
  folder:'Descarga_GEE_Yurimaguas',
  scale: 30,
  region: geometry,
  crs:'EPSG:32718'});

```

```

//Imagen para Landsat 5, años disponibles 1984 al 2012 - 2007
var IMGLandsat5= ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C02/T1')
  .filterDate ('2007-01-10', '2007-03-22')
  .filterBounds (geometry)
  .filterMetadata ('CLOUD_COVER', 'Less_Than', 20);
print ('Collection 2007',IMGLandsat5);

var range = IMGLandsat5.reduceColumns(ee.Reducer.minMax(), ['system:time_start']);
print('rango de fechas de la colección 2007: ', ee.Date(range.get('min')), ee.Date(range.get('max')));

var Landsat5Filtro = ee.Image(IMGLandsat5.median());
var Landsat5Clip = Landsat5Filtro.clip (geometry);
Map.addLayer(Landsat5Clip, {
  min: 0.0,

  gamma: 1.0,
  bands:['B4','B3','B2']},
  'IMAGEN LANDSAT 2007'
);
Export.image.toDrive({
  image: Landsat5Clip.select("B1", "B2", "B3", "B4", "B5", "B6", "B7"),
  description: 'Yurimaguas_Landsat5_30m_2007_Ene10Mar22',
  folder:'Descarga_GEE_Yurimaguas',
  scale: 30,
  region: geometry,
  crs:'EPSG:32718'});

//Imagen para Landsat 5, años disponibles 1984 al 2012 - 2012
var IMGLandsat5= ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C02/T1')
  .filterDate ('2011-06-10', '2012-10-22')
  .filterBounds (geometry)
  .filterMetadata ('CLOUD_COVER', 'Less_Than', 20);
print ('Collection 2012',IMGLandsat5);

var range = IMGLandsat5.reduceColumns(ee.Reducer.minMax(), ['system:time_start']);
print('rango de fechas de la colección 2012: ', ee.Date(range.get('min')), ee.Date(range.get('max')));

var Landsat5Filtro = ee.Image(IMGLandsat5.median());
var Landsat5Clip = Landsat5Filtro.clip (geometry);
Map.addLayer(Landsat5Clip, {

```

```

min: 0.0,

gamma: 1.0,
bands:['B4','B3','B2']],
'IMAGEN LANDSAT 2012'
);
Export.image.toDrive({
  image: Landsat5Clip.select("B1", "B2", "B3", "B4", "B5", "B6", "B7"),
  description: 'Yurimaguas_Landsat5_30m_2012_Jun11Oct12',
  folder:'Descarga_GEE_Yurimaguas',
  scale: 30,
  region: geometry,
  crs:'EPSG:32718'});

//Imagen para Landsat 8, años disponibles 1999 al 2020 - 2017
var IMGLandsat8= ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_RT_TOA')
  .filterDate ('2016-08-30', '2017-10-30')
  .filterBounds (geometry)
  .filterMetadata ('CLOUD_COVER', 'Less_Than', 20);
print ('Collection 2017',IMGLandsat8);

var range = IMGLandsat8.reduceColumns(ee.Reducer.minMax(), ['system:time_start']);
print('rango de fechas de la colección 2017: ', ee.Date(range.get('min')), ee.Date(range.get('max')));

var Landsat8Filtro = ee.Image(IMGLandsat8.median());
var Landsat8Clip = Landsat8Filtro.clip (geometry);
Map.addLayer(Landsat8Clip, {
  min: 0.0,
  max: 1.1,
  gamma: 1.0,
  bands:['B5','B4','B3']],
'IMAGEN LANDSAT 2017'
);
Export.image.toDrive({
  image: Landsat8Clip.select("B1", "B2", "B3", "B4", "B5", "B6", "B7", "B8", "B9", "B10", "B11"),
  description: 'Yurimaguas_Landsat8_30m_2017_Ago16Oct17',
  folder:'Descarga_GEE_Yurimaguas',
  scale: 30,
  region: geometry,
  crs:'EPSG:32718'});

```

```

//Imagen para Landsat 8, años disponibles 1999 al 2022 - 2022
var IMGLandsat8= ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_RT_TOA')
  .filterDate ('2022-01-30', '2022-10-30')
  .filterBounds (geometry)
  .filterMetadata ('CLOUD_COVER', 'Less_Than', 20);
print ('Collection 2022',IMGLandsat8);

var range = IMGLandsat8.reduceColumns(ee.Reducer.minMax(), ['system:time_start']);
print('rango de fechas de la colección 2022: ', ee.Date(range.get('min')), ee.Date(range.get('max')));

var Landsat8Filtro = ee.Image(IMGLandsat8.median());
var Landsat8Clip = Landsat8Filtro.clip (geometry);
Map.addLayer(Landsat8Clip, {
  min: 0.0,
  max: 1.0,
  gamma: 1.0,
  bands:['B5','B4','B3']},
  'IMAGEN LANDSAT 2022'
);
Export.image.toDrive({
  image: Landsat8Clip.select("B1", "B2", "B3", "B4", "B5", "B6", "B7", "B8", "B9", "B10", "B11"),
  description: 'Yurimaguas_Landsat8_30m_2022_AGO21Oct22',
  folder:'Descarga_GEE_Yurimaguas',
  scale: 30,
  region: geometry,
  crs:'EPSG:32718'});

//Descarga de DEM SRTM v4
var dataset = ee.Image('CGIAR/SRTM90_V4')
var datasetclip= dataset.clip (geometry);
var elevation = datasetclip.select('elevation');
var slope = ee.Terrain.slope(elevation);
Map.addLayer(slope, {min: 0, max: 60}, 'slope');
Map.addLayer(datasetclip, {
  palette:['white','green','yellow','pink','red','darkred'],
  min: 0.0,
  max: 350},
  'DEM SRTM V4'

```

);

```
Export.image.toDrive({  
  image:datasetclip,  
  description: 'Yurimaguas_DEM_SRTM',  
  folder:'Descarga_GEE3',  
  scale: 30,  
  region: geometry,  
  crs:'EPSG:32718',  
  fileFormat:'GeoTIFF'});
```

```
Export.image.toDrive({  
  image:slope,  
  description: 'Yurimaguas_DEM_SRTM_slope',  
  folder:'Descarga_GEE3',  
  scale: 30,  
  region: geometry,  
  crs:'EPSG:32718',  
  fileFormat:'GeoTIFF'});
```

```
// Exportando el marco de área de estudio  
var ROI = ee.FeatureCollection([geometry]);  
Export.table.toDrive({  
  collection: ROI,  
  description:'AreaDeEstudio_Yurimaguas',  
  folder:'Descarga_GEE_Yurimaguas',  
  fileFormat: 'SHP'  
});
```

;

Anexo 3

Matrices de error de las clasificaciones urbano- no urbano resultantes de la evaluación de precisión.

Tener en cuenta la clase 1 se refiere a la clase urbana y la clase 2 a la no urbana. Además, cada elemento p_{ij} de la matriz es la proporción de área clasificada como clase i que tiene una referencia de clase j .

Clasificación urbana- no urbana 1992

```
> AREA BASED ERROR MATRIX
> Reference
```

V_Classified	1	2	Area	Wi
1	0.0245	0.0016	3353400.0000	0.0261
2	0.0029	0.9710	125166600.0000	0.9739
Total	0.0275	0.9725	128520000.0000	
Area	3530916	124989084	128520000	
SE	0.0021	0.0021		
SE area	272221	272221		
95% CI area	533553	533553		
PA [%]	89.2904	99.8395		
UA [%]	94.0171	99.6979		
Kappa hat	0.9385	0.8900		

Overall accuracy [%] = 99.5497

Kappa hat classification = 0.9136

Area unit = metre²

SE = standard error

CI = confidence interval

PA = producer's accuracy

UA = user's accuracy

Clasificación urbana- no urbana 1997

```
> AREA BASED ERROR MATRIX
> Reference
```

V_Classified	1	2	Area	Wi
1	0.0348	0.0022	4760100.0000	0.0370
2	0.0059	0.9571	123759900.0000	0.9630
Total	0.0407	0.9593	128520000.0000	
Area	5227648	123292352	128520000	
SE	0.0030	0.0030		
SE area	382528	382528		
95% CI area	749755	749755		
PA [%]	85.6084	99.7690		
UA [%]	94.0171	99.3921		
Kappa hat	0.9376	0.8505		

Overall accuracy [%] = 99.1930

Kappa hat classification = 0.8920

Area unit = metre²

SE = standard error

CI = confidence interval

PA = producer's accuracy

UA = user's accuracy

Clasificación urbana- no urbana 2002

> AREA BASED ERROR MATRIX				
> Reference				
V_Classified	1	2	Area	Wi
1	0.0405	0.0014	5388300.0000	0.0419
2	0.0073	0.9508	123131700.0000	0.9581
Total	0.0478	0.9522	128520000.0000	
Area	6147939	122372061	128520000	
SE	0.0033	0.0033		
SE area	423042	423042		
95% CI area	829162	829162		
PA [%]	84.7347	99.8538		
UA [%]	96.6805	99.2378		
Kappa hat	0.9651	0.8407		

Overall accuracy [%] = 99.1306

Kappa hat classification = 0.8986

Area unit = metre²

SE = standard error

CI = confidence interval

PA = producer's accuracy

UA = user's accuracy

Clasificación urbana- no urbana 2007

> AREA BASED ERROR MATRIX				
> Reference				
V_Classified	1	2	Area	Wi
1	0.0422	0.0040	5942700.0000	0.0462
2	0.0088	0.9450	122577300.0000	0.9538
Total	0.0510	0.9490	128520000.0000	
Area	6553696	121966304	128520000	
SE	0.0037	0.0037		
SE area	469767	469767		
95% CI area	920743	920743		
PA [%]	82.8408	99.5789		
UA [%]	91.3580	99.0826		
Kappa hat	0.9089	0.8201		

Overall accuracy [%] = 98.7254

Kappa hat classification = 0.8622

Area unit = metre²

SE = standard error

CI = confidence interval

PA = producer's accuracy

UA = user's accuracy

Clasificación urbana- no urbana 2012

> AREA BASED ERROR MATRIX				
> Reference				
V_Classified	1	2	Area	Wi
1	0.0553	0.0054	7795800.0000	0.0607
2	0.0058	0.9335	120724200.0000	0.9393
Total	0.0611	0.9389	128520000.0000	
Area	7850600	120669400	128520000	
SE	0.0031	0.0031		
SE area	398131	398131		
95% CI area	780337	780337		
PA [%]	90.4929	99.4269		
UA [%]	91.1290	99.3818		
Kappa hat	0.9055	0.8988		

Overall accuracy [%] = 98.8812
Kappa hat classification = 0.9021

Area unit = metre²
SE = standard error
CI = confidence interval
PA = producer's accuracy
UA = user's accuracy

Clasificación urbana- no urbana 2017

> AREA BASED ERROR MATRIX				
> Reference				
V_Classified	1	2	Area	Wi
1	0.0759	0.0000	9748800.0000	0.0759
2	0.0130	0.9112	118771200.0000	0.9241
Total	0.0888	0.9112	128520000.0000	
Area	11416414	117103586	128520000	
SE	0.0043	0.0043		
SE area	552386	552386		
95% CI area	1082677	1082677		
PA [%]	85.3928	100.0000		
UA [%]	100.0000	98.5959		
Kappa hat	1.0000	0.8419		

Overall accuracy [%] = 98.7024
Kappa hat classification = 0.9142

Area unit = metre²
SE = standard error
CI = confidence interval
PA = producer's accuracy
UA = user's accuracy

Clasificación urbana- no urbana 2022

	> AREA BASED ERROR MATRIX			
	> Reference			
V_Classified	1	2	Area	Wi
1	0.0752	0.0119	11196900.0000	0.0871
2	0.0172	0.8957	117323100.0000	0.9129
Total	0.0925	0.9075	128520000.0000	
Area	11883693	116636307	128520000	
SE	0.0053	0.0053		
SE area	676326	676326		
95% CI area	1325599	1325599		
PA [%]	81.3724	98.6909		
UA [%]	86.3636	98.1132		
Kappa hat	0.8497	0.7959		

Overall accuracy [%] = 97.0896
Kappa hat classification = 0.8220

Area unit = metre²
SE = standard error
CI = confidence interval
PA = producer's accuracy
UA = user's accuracy