



# Fragmentación del paisaje en la Región Metropolitana de La Paz, entre 2017 y 2023

Landscape fragmentation in the Metropolitan Region of La Paz, between 2017 and 2023

Fragmentação da paisagem na Região Metropolitana de La Paz, entre 2017 e 2023

**Gloria Eliana Tórrez Castro**

Universidad Federal de Ceará (UFC). Brasil



<https://orcid.org/0009-0009-2879-2461>

**Raúl Fernando Molina Rodríguez**

Universidad Federal de Ceará (UFC). Brasil



<https://orcid.org/0000-0002-6340-6070>

**Contacto:** [gloriatorrez@alu.ufc.br](mailto:gloriatorrez@alu.ufc.br) - [fernando.molina@alu.ufc.br](mailto:fernando.molina@alu.ufc.br)

**Cómo citar:** Torrez, G., Molina, F. (2025). Fragmentación del paisaje en la Región Metropolitana de La Paz, entre 2017 y 2023. *Revista IBU*, (01), 05-31. ISSN 3079-3734

## Resumen

El rápido crecimiento poblacional urbano en Latinoamérica ha impulsado una expansión dispersa de las ciudades, con bajas densidades y cambios en los usos del suelo. Este fenómeno deteriora hábitats y ecosistemas, genera una alta demanda de recursos naturales y provoca una considerable emisión de gases contaminantes y residuos, lo que puede ampliar la huella ecológica hasta cien veces el área ocupada. La transformación del paisaje refleja estos cambios, evidenciando procesos de fragmentación espacial que afectan la estructura del hábitat. Por ello, es crucial medir la expansión urbana mediante métricas espaciales de fragmentación para comprender mejor los gradientes urbano- rurales y orientar la planificación territorial. El estudio analiza la evolución de la fragmentación del paisaje debido a la expansión urbana en la Región Metropolitana de La Paz (RMLP) entre 2017 y 2023. Utiliza imágenes satelitales con una resolución de 10 metros y métricas de ecología del paisaje para monitorear estos cambios. Los resultados muestran que la expansión urbana está fragmentando paisajes naturales y de cultivo en diferentes grados, con una mayor concentración en los sectores sudoeste y sudeste de la RMLP. Este análisis busca fomentar una visión crítica sobre las implicaciones de esta expansión dispersa y contribuir a una mejor planificación territorial.

## Palabras clave

Expansión urbana, fragmentación, ecología del paisaje, planificación territorial, usos de suelo



## Abstract

Rapid urban population growth in Latin America has driven a dispersed expansion of cities, with low densities and changes in land use. This phenomenon deteriorates habitats and ecosystems, generates a high demand for natural resources and causes considerable emissions of polluting gases and waste, which can expand the ecological footprint up to one hundred times the occupied area. The transformation of the landscape reflects these changes, evidencing processes of spatial fragmentation that affect habitat structure. Therefore, it is crucial to measure urban expansion through spatial fragmentation metrics to better understand urban-rural gradients and guide territorial planning. The study analyzes the evolution of landscape fragmentation due to urban expansion in the Metropolitan Region of La Paz (RMLP) between 2017 and 2023. It uses satellite images with a resolution of 10 meters and landscape ecology metrics to monitor these changes. The results show that urban expansion is fragmenting natural and cultivated landscapes to different degrees, with a greater concentration in the southwest and southeast sectors of the RMLP. This analysis seeks to foster a critical view of the implications of this dispersed expansion and contribute to better territorial planning.

## Keywords

Urban sprawl, fragmentation, landscape ecology, territorial planning, land uses

## Resumo

O rápido crescimento da população urbana na América Latina impulsionou uma expansão dispersa das cidades, com baixas densidades e mudanças no uso do solo. Este fenômeno deteriora habitats e ecossistemas, gera uma elevada procura de recursos naturais e provoca uma emissão considerável de gases poluentes e resíduos, o que pode expandir a pegada ecológica até cem vezes a área ocupada. A transformação da paisagem reflete estas mudanças, evidenciando processos de fragmentação espacial que afetam a estrutura do habitat. Portanto, é crucial medir a expansão urbana utilizando métricas espaciais de fragmentação para melhor compreender os gradientes urbano-rurais e orientar o planejamento territorial. O estudo analisa a evolução da fragmentação da paisagem devido à expansão urbana na Região Metropolitana de La Paz (RMLP) entre 2017 e 2023. Utiliza imagens de satélite com resolução de 10 metros e métricas de ecologia da paisagem para monitorar essas mudanças. Os resultados mostram que a expansão urbana está fragmentando em diferentes graus as paisagens naturais e cultivadas, com maior concentração nos setores sudoeste e sudeste da RMLP. Esta análise procura promover uma visão crítica das implicações desta expansão dispersa e contribuir para um melhor planejamento territorial.

## Palavras-chave

Expansão urbana, fragmentação, ecologia da paisagem, planejamento territorial, usos do solo

## Introducción

El crecimiento acelerado de la población mundial es una preocupación central en la actualidad, especialmente considerando que las proyecciones apuntan a superar los 8.500 millones de habitantes en 2030 y los 11.100 millones para 2100, pero no solo la población tiene un alto crecimiento, sino también la producción de bienes y alimentos para atender las necesidades de la población, que implica un impacto negativo a nivel mundial, considerando que, cada vez se requerirán mayores cantidades de recursos naturales para atender a toda la población (Sadigov, 2022), lo cual incide en el incremento de la superficie de suelo agrícola y un mayor consumo de agua.

De acuerdo con las Naciones Unidas, en 2009 América del Sur ya era uno de los subcontinentes más urbanizados del mundo, con casi el 84% de la población total viviendo en ciudades, es decir, más urbanizado que América del Norte y los países de la Unión Europea. Este crecimiento se está dando en la población, pero también en el tamaño de las ciudades (expansión urbana), que se convierte en un gran desafío urbano. Se prevé que para 2050, la población urbana sudamericana crezca un 34% (Inostroza et al., 2013).

El estudio de metaanálisis global de la expansión urbana realizado para el periodo 1970 a 2000 realizado por Seto et al. (2011), señala que en todas las regiones del mundo las tasas de expansión del suelo urbano son más altas o iguales a las tasas de crecimiento de la población urbana, lo que sugiere que el crecimiento urbano es más expansivo que compacto, por lo que las ciudades se están expandiendo más de lo necesario y su impacto se reflejará globalmente.

La transformación de la estructura de las ciudades latinoamericanas también visualiza la fragmentación, que es una nueva forma de separación de funciones y elementos socioespaciales en una dimensión pequeña, en la cual, elementos económicos y barrios habitacionales se dispersan y mezclan en espacios pequeños, donde el crecimiento del espacio urbano no solo es más causado por la presión migratoria, sino por la demanda y consumo de espacio (Borsdorf & Borsdorf, 2003).

Una forma de expresión de estos cambios es en el paisaje, entendido como dominio de lo visible y resultado de la interacción entre elementos naturales y humanos (Vasconcelos, 2020), que pueden modificarse mediante la interacción de diversos factores y transformar la estructura espacial del hábitat natural. En estos procesos se produce la fragmentación, el proceso dinámico por el que un hábitat se reduce a fragmentos o islas menores, configurando un nuevo paisaje diferente al original.

De acuerdo a Kowe et al. (2020) la vegetación urbana y los espacios naturales tienen importantes valores socioeconómicos y ecológicos, además son de vital importancia para mejorar la calidad de vida en los entornos urbanos, y sin embargo, uno de los principales impactos de la urbanización es la fragmentación de la vegetación y en consecuencia el hábitat natural, convirtiendo a los bosques, pastizales y espacios verdes, en fracciones más pequeñas y aisladas, causando pérdidas de estos hábitats y visibilizando cambios en el territorio.

Considerando los nuevos patrones de urbanización, donde resulta cada vez más difícil delimitar los bordes de las ciudades, la mejor comprensión de los gradientes urbano-rurales se ha convertido en una cuestión clave para la planificación urbana (Ortiz-Báez et al., 2021), así también, la medición de la expansión urbana bajo métricas espaciales puede proporcionar datos para una mejor comprensión del desarrollo urbano (Inostroza et al., 2013).

Bajo esta reflexión, podemos argüir que la expansión urbana es un proceso de desbordamiento de asentamientos urbanos, cambios en el uso del suelo y conversión de paisajes rurales en parcelas urbanas, caracterizado por un desarrollo discontinuo, heterogéneo e ineficiente acompañado de un consumo excesivo de suelo (Dadashpoor & Shahhossein, 2024) y que además, causa un impacto irreversible en los ecosistemas circundantes y en el planeta tierra, entonces, dependerá de cómo se lleve a cabo el desarrollo urbano para responder a estas tendencias (Inostroza et al., 2013).

Bolivia no está ajena a este fenómeno mundial, ya desde el censo 2001 es un país predominantemente urbano, donde sus ciudades han crecido de manera extensiva, con un alto consumo de suelo en detrimento del entorno y sus activos naturales, como indica el estudio elaborado por ONU-Habitat, (2021).

En el caso de la Región Metropolitana de La Paz (RMLP), el crecimiento vegetativo es de 1,2% y la mancha urbana se ha expandido en un 3,8%, es decir, que la mancha urbana crece tres veces más que la población, reflejando que se sigue el modelo global de crecimiento expansivo y disperso, que afecta al medio ambiente y pone en riesgo la seguridad alimentaria y la calidad de vida de sus habitantes.

Considerando que la RMLP se sitúa en diferentes pisos ecológicos, la expansión urbana afecta diversos ecosistemas (bosques, matorrales andinos, bofedales y puna) y estas afectaciones tienen impactos globales reflejados en el cambio climático, por ello la necesidad de analizar estas transformaciones del paisaje de manera integral y a diversas escalas.

Para hacer frente a este modelo de expansión urbana, será necesario conocer y caracterizar las dinámicas de la transformación espacial rural-urbana. La RMLP no cuenta con estudios del impacto de lo urbano en la fragmentación del paisaje metropolitano.

Las preguntas que guían la investigación son las siguientes:

¿Cuáles usos de suelo han presentado mayor fraccionamiento en la RMLP?

¿Cuáles son los municipios que presentan mayor fraccionamiento de paisaje en la RMLP?

¿Cuáles son las áreas que presentan mayor incremento de superficie de suelo urbano en la RMLP?

¿Cuáles son los usos de suelo que fraccionan la urbanización?

¿Existe algún patrón en la fragmentación del paisaje en la RMLP?

¿Cómo puede aportar la caracterización de la expansión urbana para la planificación urbana?

Se parte de la hipótesis de que la expansión urbana dispersa de la RMLP fragmenta el paisaje de diversa forma según cada ecorregión y se produce en mayor intensidad en la ecorregión de Puna, considerando las características en pendiente.

Se plantea como objetivo: Identificar los distintos patrones en la fragmentación del paisaje a partir de la expansión urbana en la Región Metropolitana de La Paz (RMLP), en un periodo de 6 años, desde el 2017 hasta el 2023, con el fin de analizar posibles afectaciones en distintos ecosistemas y a distintas escalas.

La investigación utiliza una herramienta metodológica capaz de valorar los cambios en el paisaje e identificar patrones de expansión que sirvan de insumos para la planificación y gestión del territorio, así, formar una visión crítica de las implicaciones de la expansión dispersa de las ciudades.

Para el logro del objetivo planteado, se identificó el cambio de uso de suelo en la RMLP en base al producto cartográfico de cobertura y uso del suelo, conocido como LULC por sus siglas en inglés (*Land Use Land Cover*), generado a partir de imágenes satelitales Sentinel 2-A, procesado por ESRI y Microsoft. En base a estos productos, se calcula la fragmentación utilizando métricas de la ecología del paisaje a distintas escalas y se identifica los sectores con mayor fragmentación del paisaje en áreas de expansión urbana y finalmente se realiza la caracterización de la fragmentación identificada.

## Encuadre de Investigación

### Marco Teórico

El ser humano llega al siglo XXI en medio de una serie de acontecimientos que ponen en tela de juicio su forma de vida contemporánea, pues aún con todo el desarrollo tecnológico y económico, se percibe claramente el deterioro del medio natural, acompañado de un correspondiente aumento de los problemas de salud física, mental y social de los individuos (Nucci, 2007), ante este panorama se identifica un enfoque bajo el cual se pueda realizar un análisis crítico a las implicaciones del accionar humano en su entorno natural, identificando la ecología del paisaje como el más adecuado al propósito planteado.

Como dice Tyler:

Desde un punto de vista ambiental, las áreas urbanas son algo parecido a aspiradoras gigantes, que succionan gran parte de la materia, de la energía y de los recursos vivientes del mundo, y que expelen contaminación, residuos y calor. Como consecuencia de ello, tienen una gran huella ecológica que se extiende más allá de sus límites. (como se cita en Lahoz, 2010: p. 295)

Por tanto, la influencia de las ciudades sobrepasa sus límites geográficos, con impactos a escala regional y escala mundial, mediante la demanda de recursos naturales, la generación de residuos y las emisiones al suelo, al agua y al aire y, en consecuencia, la huella ecológica de una ciudad puede llegar a ser más de cien veces superior al área que ocupa (Lahoz, 2010).

### Expansión Urbana

El crecimiento de las ciudades en superficie ocupada se lo reconoce también como expansión urbana, y es asociado a la internacionalización de la economía como indica Lara:

En tanto que la economía se volvía internacional e incrementaba su tamaño, las ciudades alrededor del mundo crecían a pasos agigantados. A este fenómeno se le conoce como urbanización, aunque también se habla de «*urban sprawl*» (COUCH y otros, 2007) o «desparrame urbano». (como se cita en Lahoz, 2010: p. 295)

La expansión urbana es un fenómeno multidimensional cuya definición se convierte en un reto, ya que implica dimensiones económicas, sociales, culturales, físicas y ambientales, además se observa como un patrón, proceso, causa y consecuencia, es decir, con un amplio alcance de conceptos; sin embargo, se hace un esfuerzo de aproximación y se la define como el desarrollo ilimitado, de baja densidad, sin límites, además de cualquier desviación del modelo de ciudad compacta, como el crecimiento suburbano, el desarrollo en cintas o franjas, el salto de rana y el desarrollo disperso. (Dadashpoor & Shahhossein, 2024)

Otros aspectos determinantes en la expansión urbana actual son la velocidad y el nuevo patrón disperso, como indica Ortiz-Báez et al. (2021):

La velocidad y el patrón de crecimiento de las ciudades han cambiado en las últimas décadas. Durante siglos las ciudades crecieron lentamente y siguiendo una configuración compacta, sin embargo, las innovaciones tecnológicas en información y comunicación, el mayor acceso a la motorización privada, la difusión del nuevo paradigma económico neoliberal y la globalización han transformado la estructura de las ciudades, produciendo nuevas morfologías espaciales que tienden a ser más dispersas (Harvey, 1989; Hidalgo et al., 2007; Inostroza et al., 2013; Newman & Kenworthy, 1996). (p. 46)

Este alto consumo de espacio creado por asentamientos altamente dispersos provoca una disminución de la densidad demográfica, además de fomentar la discontinuidad de la trama vial, al presentarse grandes espacios sin urbanizar entremezclados con las nuevas zonas urbanas (Cruz-Muñoz, 2020), transformando los territorios periurbanos donde la ciudad pierde sus límites tradicionales, facilitando de este modo, la conformación de conurbaciones y áreas urbanas metropolitanas, ocupando áreas muy extensas atravesadas por vías rápidas (Lahoz, 2010).

Comprender las características de la actual expansión urbana nos permitirán visualizar patrones en los cambios de uso de suelo en la RMLP que permitan diseñar instrumentos de gestión y administración territorial.

Para Rojas et al. (2017) en el aumento de la demanda de terrenos para la residencia, son vulnerables los espacios periurbanos, conurbados, parte de las metrópolis, muy apetecidos al destinar las nuevas superficies urbanas, y también las zonas naturales, dada la propagación de desarrollos inmobiliarios que apuntan a una convivencia y cercanía con las áreas de valor natural, razón por la cual la importancia de un análisis a escala de la región metropolitana para el presente estudio.

#### ***Cambio de Usos de Suelo***

Los resultados del estudio sobre el uso del suelo urbano, realizado por Seto et al. (2011), estiman que para el año 2030 la cobertura global del suelo urbano aumentará en 1.527.000 km<sup>2</sup> (p. 1), este incremento significa la recalificación de ese suelo rústico por urbano, es decir la construcción y urbanización sobre suelos con elevado valor agrícola y/o ecológico, (Lahoz, 2010). Es importante destacar que la conversión de la superficie terrestre a usos urbanos es uno de los impactos humanos más irreversibles en la biosfera global (Seto et al., 2011), que persiste durante siglos o incluso nunca llega a desaparecer, debido a la afectación a ecosistemas que trae consigo esta conversión, considerando que el suelo como espacio vital, puede convertirse en muchos casos en un recurso no renovable (Lahoz, 2010).

En consecuencia, no se trata de un simple proceso técnico administrativo de cambio de usos de suelo, sino que esta conversión impulsa la pérdida de tierras de cultivo, afecta el clima local, fragmenta los hábitats y amenaza la biodiversidad (Seto et al., 2011).

#### ***Ecología del Paisaje***

La definición de paisaje transcurrió en su enfoque, desde lo objetivable: lo físico-ecológico, lo fenomenológico: la manera de ver, la relación sujeto-objeto (Salgueiro, 2012). Es entonces que, el término de paisaje trasciende el campo del arte y pasa a ser una de las principales categorías de análisis dentro de las investigaciones relacionadas al medio ambiente, iniciadas con la contribución de otras áreas del conocimiento científico como la biología y la ecología (Gonçalves, 2014).

La ecología como ciencia tiene como unidad de estudio el ecosistema, inicia en el siglo XVI con el surgimiento de nuevas teorías y una serie de descubrimientos que sirvieron de base a explicaciones surgidas del conocimiento ecológico, como por ejemplo el descubrimiento de conceptos y principios sobre el proceso de fijación de la energía solar y la circulación de nutrientes (Nucci, 2007).

El término ecología fue propuesto para el estudio de las relaciones de animales y plantas con el medio ambiente, como un nuevo campo de investigación, planteado por el biólogo alemán Ernest Heinrich Haeckel en 1886, al observar en sus estudios, la variación de especies según el lugar en el que se encontraban (Nucci, 2007).

Como señala Nucci (2007), para algunos las causas de la crisis actual de la humanidad residen en la visión del mundo fragmentada y mecanicista de la ciencia y que, para describir apropiadamente un mundo globalmente interconectado, sería necesaria una perspectiva ecológica. Así, la ecología, ha sido considerada como una panacea capaz de resolver los problemas ambientales, principalmente por su posible visión sistémica de la realidad.

Troll acuñó el término Ecología del Paisaje, como disciplina científica en 1939, al estudiar cuestiones relacionadas con el uso del suelo mediante fotografías aéreas e interpretación de paisajes. Con este término Troll tuvo la intención de incentivar la colaboración entre la geografía y la ecología, es decir la colaboración desde la interacción espacial de los fenómenos, con las interacciones funcionales de un lugar (Nucci, 2007).

En consecuencia, la ecología del Paisaje nos ayuda a estudiar a los paisajes urbanos y rurales como mosaicos heterogéneos compuestos por diferentes ecosistemas, que para el caso de la RMLP nos facilitarán la comprensión de cómo interactúan los elementos naturales y urbanos y sus respectivos procesos de transformación.

Con el avance de la tecnología, a nivel mundial, se ha potenciado el análisis de la variación de los paisajes en el tiempo, a través de la ecología del paisaje, debido a que, actualmente existe una alta variedad de productos cartográficos procesados masivamente, que pueden servir como insumos base de análisis territorial, pero que requieren su testeo y evaluación, dependiendo la escala y la temática a trabajar.

### ***Fragmentación***

Hay elementos que constituyen al paisaje y pueden modificarse mediante la interacción de factores que transforman la estructura espacial del hábitat natural, y en estos procesos complejos se produce la fragmentación del paisaje. En este contexto, la fragmentación es el proceso dinámico por el cual, un determinado hábitat va quedando reducido a fragmentos o islas de menor tamaño, más o menos conectadas entre sí, en una matriz de hábitats diferentes al original, y que conlleva efectos espaciales (Bustamante y Grez, 1995).

Las principales causas de la fragmentación del paisaje se deben: al crecimiento descontrolado de las ciudades hacia áreas rurales y naturales, que consume grandes extensiones de hábitat natural, fragmentando el paisaje y aislando ecosistemas; la construcción de carreteras, ferrocarriles, represas, líneas eléctricas y otras infraestructuras lineales, que fragmentan el paisaje al crear barreras físicas que dividen hábitats naturales, estas barreras pueden impedir el movimiento de las especies, lo que afecta su acceso a recursos como alimento, agua y refugio; la tala de árboles para la agricultura, la ganadería, la extracción de madera o el desarrollo urbano, que elimina grandes extensiones de bosque, fragmentando el hábitat forestal y aislando poblaciones de flora y fauna.

Según Pinto (2006) los procesos que se ven más afectados por los efectos de la fragmentación del paisaje son aquellos que dependen de vectores de transmisión en el paisaje. La dispersión de semillas, la polinización de las plantas, las relaciones de predador-presa, la dispersión de parásitos y epidemias son ejemplos de procesos ecológicos frágiles, por su dependencia de vectores animales que a su vez tienen limitado el movimiento por el paisaje, es decir, tienen una reducida conectividad.

En el proceso de crecimiento y expansión de las ciudades se adhieren y absorben tierras con aptitud diferente a la urbana. Los cambios de uso de suelo, especialmente los de urbanización con patrones de baja densidad, son los principales elementos de deterioro ambiental, porque ocupan grandes extensiones de suelo, demandan dotaciones de energía, generan residuos sólidos y agotan los recursos naturales básicos de sus áreas periféricas. Por lo tanto, se convierte en una de las principales amenazas para la biodiversidad afectando al paisaje a través de la fragmentación y la pérdida de hábitat (Dávila et al., 2021).

En consecuencia, la fragmentación del paisaje nos permitirá en el presente estudio visualizar cómo la expansión urbana divide y reduce los ecosistemas naturales, así como también identificar si los elementos del paisaje están conectados o aislados.

## **Marco Conceptual**

### ***Estructura del paisaje***

La estructura del paisaje se refiere a la organización espacial y composición de los elementos que conforman un determinado territorio, es decir, es la forma en que se distribuyen y relacionan entre sí los diferentes parches de vegetación, cuerpos de agua, áreas urbanas y otros elementos naturales y artificiales que componen un paisaje. Los componentes de la estructura del paisaje son la matriz, los parches y los corredores.

### ***Matriz***

La matriz es el elemento dominante del paisaje, el fondo o soporte sobre el cual se distribuyen los otros elementos, suele ser el ecosistema más extenso y continuo.

### ***Parches***

Los parches son áreas relativamente homogéneas que difieren de la matriz circundante, pueden ser de origen natural (bosques, ríos, lagos) o antrópico (cultivos, ciudades, represas). Por ejemplo, un bosque es un parche de paisaje natural (polígono) que al ser afectado por la urbanización se subdivide en nuevos parches (polígonos) de menor tamaño.

### ***Clases del paisaje***

Una clase de paisaje es una categoría o tipo de paisaje que se define en base a características comunes que pueden ser características naturales (geología, clima o vegetación) como antrópicas (uso del suelo, densidad de población, infraestructura). Al clasificar los paisajes se agrupan áreas geográficas que comparten atributos similares, lo que permite entender mejor su funcionamiento, su evolución y su relación con las actividades humanas.

### ***Métricas de la ecología del paisaje***

Las métricas de la ecología del paisaje son indicadores cuantitativos que nos permiten describir y analizar las características espaciales de un paisaje determinado. Estas métricas se utilizan para evaluar la composición, configuración y dinámica de los elementos que conforman un paisaje, como por ejemplo los parches de vegetación, cuerpos de agua o áreas urbanas.



## Estado de la Cuestión

Actualmente el estudio de la fragmentación del paisaje en regiones metropolitanas es un tema creciente, especialmente en países asiáticos como la China e Irán, donde destaca el análisis del paisaje a partir de la región metropolitana, para observar los impactos del crecimiento urbano, pero también plantean como unidad de análisis a la Cuenca Hidrográfica; un ejemplo es el estudio realizado sobre el río Yangtsé y de la cuenca del río Amarillo, donde investigan el impacto de la forma urbana en la eficiencia del uso del suelo urbano a partir de métricas de paisaje (Chen et al., 2023). Para el caso de la RMLP, se consideran estos estudios por ser áreas metropolitanas con alta urbanización y que cuestionan los impactos de la expansión urbana en los entornos naturales (ríos, cuencas, bosques).

Por otro lado, la disponibilidad de imágenes satelitales con mejor resolución espacial y temporal (30 metros Landsat y 10 metros Sentinel 2A) permite contar con insumos para realizar estudios en áreas urbanas y metropolitanas, identificando elementos geográficos (superficie construida, redes viales, cuerpos de agua) con mayor detalle; a diferencia de hace 10 años, donde la información espacial solo permitía realizar a estudios regionales a escalas mayores 1:50000 (Nasehi & Imanpour Namin, 2020).

Asimismo, ante la generación masiva de productos cartográficos globales de clasificación de usos de suelo, como el producto WorldCover de 10 m de resolución de la Agencia Espacial Europea (ESA); o el GlobeLand30, el conjunto de datos sobre la cubierta terrestre elaborado por el Centro Nacional de Geomática de China(NGCC), o el mapa dinámico de cobertura terrestre del Programa Copernicus con una resolución de 100 m (CGLS-LC100), se han comenzado a efectuar estudios a escalas urbanas, en función a su resolución espacial y temporal, aplicando técnicas geoestadísticas debido al gran volumen de datos; un ejemplo es el estudio realizado en Nigeria para analizar datos sobre el cambio de uso del suelo y sus repercusiones urbanas y rurales en el Estado de Lagos (Onilude & Vaz, 2020).

En Latinoamérica, los estudios predominan a nivel rural, destacando los efectos de la fragmentación de los bosques y sus consecuencias en la pérdida de conectividad, biodiversidad y hábitats de especies (Pereira dos Santos, 2020). A escala metropolitana se han llevado a cabo estudios principalmente en Brasil, México y Chile; para Dávila et al. (2021) el actual modelo de las ciudades (mexicanas) es disperso, caracterizado por la baja densidad edificatoria, que promueve la discontinuidad y fragmentación de los nuevos usos del suelo en el territorio y la preponderancia del transporte privado por carretera. En el caso brasilero estudios (Barros, 2018; Jacob et al., 2021; Valenzuela et al., 2019) destacan su preocupación del aumento de la fragmentación en áreas forestales dentro las regiones metropolitanas especialmente de especies nativas como *Manguezales* y *Coqueiros* en Arcaju - Sergipe y Cuiabá en Matogrosso; asimismo, los estudios como el de Jacob et al. (2021) consideran que la densificación y la compactación urbana, es el camino más viable para que exista un crecimiento sostenible y amigable con la naturaleza. Así también, en Chile se efectúan estudios de evaluación de la conectividad ecológica en paisajes metropolitanos, donde la demanda de terrenos residenciales, especialmente en espacios periurbanos son los más apetecidos para desarrollos inmobiliarios, esto implica una fuerte presión hacia los recursos naturales alrededor, donde según Rojas et al. (2017), la conectividad ecológica permite conocer qué tan bien o mal conectados están los fragmentos que son ecológicamente más valiosos del paisaje, sobre todo en el planeamiento de las áreas de preservación.

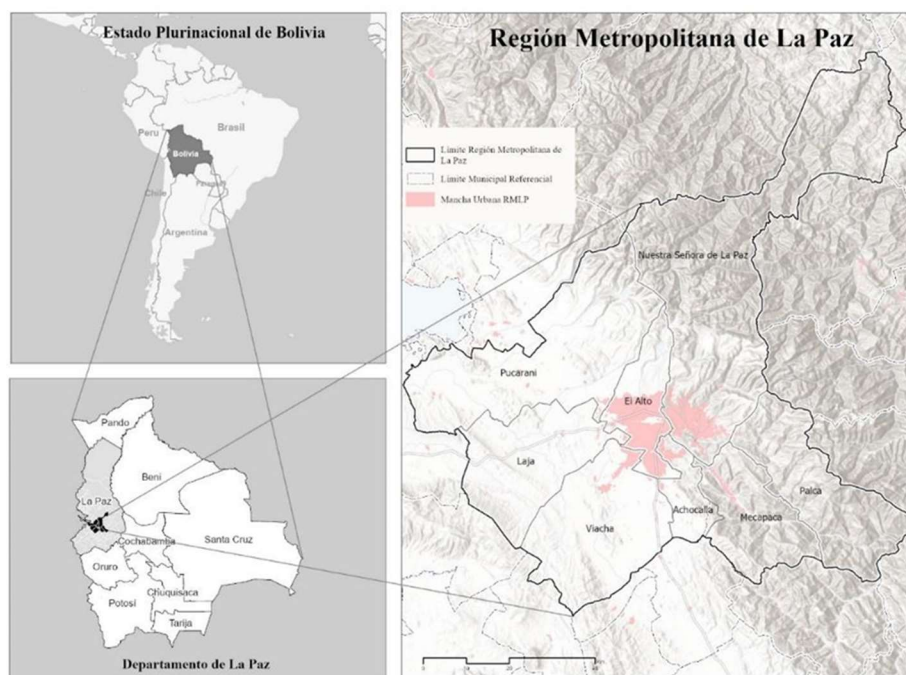
En el caso de Bolivia, los estudios de fragmentación en su mayoría hacen referencia a lo rural sobre todo destacando los efectos de la deforestación, asimismo, en la disminución de la conectividad de especies por el efecto de la agricultura (Loayza & Loiselle, 2008; Maillard et al., 2020; Pinto-Ledezma & Rivero Mamani, 2014). El estudio de Pinto (2006) analiza la ecología del paisaje en el Municipio de San Julián, utilizando métricas de paisaje, a partir del procesamiento de imágenes satelitales Landsat por un periodo de 30 años, que permite contar con resultados con alta resolución temporal y espacial, en el que señala la influencia de agricultura en la fragmentación del bosque. A nivel metropolitano, existe el estudio sobre la fragmentación del paisaje en la Región Metropolitana de Santa Cruz (Molina & Torrez, 2024), el cual es la base metodológica para el presente estudio, donde se destaca el uso de los productos LULC (*Land Use Land Cover*) y muestra como resultado que la expansión urbana, constituida por loteamientos sin consolidación, está fragmentando paisajes naturales y agrícolas.

## Metodología

### Marco Contextual

El área urbana de la Región Metropolitana de La Paz – RMLP es el conglomerado de ciudades más diverso (geográfica, sociocultural) del País. Se encuentra ubicado en el Departamento de La Paz, al oeste del Estado Plurinacional de Bolivia, que a su vez se ubica en parte central de Sudamérica (Figura 1). De acuerdo, a la Ley Departamental N° 120 del 27 de septiembre de 2016 se declara prioridad y objetivo departamental la conformación de la RMLP, constituida por los municipios: Achocalla, El Alto, La Paz, Laja, Mecapaca, Palca y Viacha; entre los siete aglomeran al 66% de la población del Departamento (Servicio Departamental de Autonomías de La Paz, 2021).

**Figura 1.** Mapa de ubicación de la RMLP



Fuente: Elaborado por los autores en base a datos Viceministerio de Autonomías, 2019. SEDALP, 2021.

De acuerdo con el Servicio Departamental de Autonomías de La Paz (2021, p. 22) la RMLP al 2021 tenía una proyección de población de 1.8 millones y con un área de la mancha urbana de 344 Km<sup>2</sup>; mientras que para el año 2036 se espera una población de 3 millones de habitantes, con un incremento en la superficie de 511 Km<sup>2</sup>. Es decir que la mancha urbana crece más rápido que el tamaño de la población.

En cuanto su geografía, la RMLP se encuentra entre dos grandes provincias fisiográficas: hacia el Norte la Cordillera Oriental con presencia de imponentes nevados y cuerpos de agua; y el Altiplano con áreas extensas de pastizales y áreas antrópicas que albergan a más del 60 % de la población del Departamento de La Paz. La RMLP se caracteriza por una urbanización en terrenos de baja pendiente hacia el Oeste, en ocasiones inundables, expandiéndose a terrenos de mayor pendiente al Sur, resultando un paisaje donde conviven humedales, lagunas, plantaciones forestales, áreas de cultivo y urbanización.

Asimismo, a partir del trabajo de Ibisch & Mérida (2003) la RMLP forma parte de dos ecoregiones: un 70 % es Puna Norteña y el 30 % forma parte de la ecoregión Yungas. En la ecoregión Puna Norteña se emplaza el área metropolitana de La Paz; esta se subdivide en tres sub-ecoregiones:

La primera sub-ecoregión es la Puna Húmeda que predomina al Centro Sur de la RMLP con paisajes de llanuras con colinas alrededor, asimismo presentan vegetación de tipo pajonal con arbustos, matorrales de arbustos resinosos, restos de bosque de *Polylepis* y Bofedales. Es la sub-ecoregión más densamente poblada de la RMLP, miles de años de civilización la cambiaron completamente. Presenta alrededor de la mancha urbana extensas áreas de cultivo, andenes, ganadería de ovinos y vacunos; hacia el norte existe presencia de explotación de minerales y actividades en turismo.

La segunda sub-ecoregión se encuentra al Sudeste de la RMLP de menor proporción (5 %); denominada Puna Semihúmeda; con paisajes de serranías, mesetas altas y valles; con vegetación predominantemente pajonal con arbustos, césped bajo en lugares húmedos, es una sub-ecoregión potencialmente boscosa con presencia de áreas de ganadería de ovinos y vacunos, casualmente cultivos, presencia de actividades en turismo.

Al Noroeste, la tercera sub-ecoregión denominada Vegetación Altoandina de la Cordillera Oriental con pisos nivales y subnivales; con paisajes de Valles glaciares con lagunas, laderas, cumbres, cimas rocosas. Presencia de vegetación en grietas, pajonal abierto sobre terreno rocoso-pedregoso, césped bajo abierto con y sin cojines, presencia de Bofedales. Existencia de ganadería de ovinos y camélidos, pocos vacunos, turismo y explotación de minerales; problemas de erosión de suelos.

La otra ecoregión está ubicada al Norte, denominada Yungas (boliviano-peruanos) al lado Este de la Cordillera, con alta humedad, cuya importancia radica no solo la precipitación por lluvias, sino también por neblina (precipitación horizontal). Presenta paisajes de laderas parcialmente muy escarpadas, valles disectados de bosque húmedo siempre verde mediano a bajo, con mosaicos de diferentes fases de sucesión causados por derrumbes naturales. Ecoregión muy rica en especies (diversidad más alta por área standard), presenta el endemismo más importante del país; alta diversidad de especies endémicas, especialmente en altitudes medianas, predomina la agricultura (locoto, café, coca, cítricos; en la Ceja especialmente papa, aprovechamiento de leña, pastoreo), de colonización creciente. Forma parte del Parque Nacional Y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata.

Respecto a la ocupación del territorio, la aglomeración a partir de la cual se constituyó la RMLP fue la ciudad de La Paz, que es el actual centro político del Estado Plurinacional de Bolivia y Sede de Gobierno.

Hasta finales del siglo XVIII, la zona urbanizada organizada a partir del trazado dameral español, no se extendía más allá del fondo de la cuenca, con su pendiente transversal relativamente suave, donde desembocaba el río Choqueyapu.

Para Franqueville (1990) desde el Siglo XIX, los inmigrantes de otros departamentos empezaron a llegar a la ciudad y construyeron sus casas de adobe, cada vez en lugares más altos, en las laderas del valle central, que se hacen más empinadas cuanto más se sube. Estas laderas son sumamente inestables, y cada año en temporada de lluvias se producen deslizamientos de tierra; se trata del cinturón de villas, término utilizado en este contexto para designar las zonas periféricas que rodean la ocupación original de la ciudad. Paralelamente a esta expansión de los barrios populares, la zona residencial de las clases acomodadas se desplazó en varias etapas. Los ricos burgueses paceños construyeron sus villas hacia 1940-1950 en la zona de Miraflores. Debido a la rápida saturación de esta zona, se procedió a la búsqueda de terrenos edificables más abajo y alejados del centro. A partir de 1955, la ciudad descendió a un nivel de altitud de 200 metros y se extendió hasta el estrecho valle de Obrajes, a 3.400 metros, seguido del cauce del río Choqueyapu. Al llegar a la confluencia de los ríos Irpavi y Achumani, a 3.200 metros, ahora el punto más bajo del valle, esta urbanización, impulsada por las clases acomodadas, desde hace unos diez años, ha ido desplazando río arriba (los barrios de Calacoto, Achumani, Los Pinos, La Florida y Aranjuez hacia el Río Abajo). Se aprovecha el clima más cálido, desplazando a las poblaciones dedicadas a la agricultura y ganadería, que en ese momento abastecían de alimentos a la ciudad. Esta expansión urbana hacia el sur deja poco espacio para los residentes de clase trabajadora, que son los más numerosos; por lo tanto, amplían la ocupación suburbana y se instalan en El Alto de La Paz.

En 1985, La Paz se separa del barrio de El Alto y, ante la fuerte crisis económica, debido a la liberalización de la economía con el Decreto 21060, cuyo efecto inmediato fue la migración del campo a la ciudad, aumentando la informalidad y la pobreza urbana. De este modo, los relocalizados mineros y fabriles y los pobladores rurales del Altiplano Norte, a causa de las sequías en tierras bajas e inundaciones en zonas montañosas por el efecto del Niño en los años 1982-83, y la crisis agraria del año 1985 debido a la apertura económica y el problema estructural del minifundio, se dirigieron a la ciudad de reciente creación denominada El Alto, la misma se estructura sobre las carreteras pertenecientes a la Red Vial Fundamental; la primera la ruta La Paz- Oruro y la otra la Ruta La Paz Viacha, vinculándose de manera gravitacional hacia los municipios de Viacha y Laja y posteriormente con Pucarani. De esta forma conformando la RMLP (Cuadros, 1996).

El proceso de migración de los años 80 impulsó el incremento poblacional y en consecuencia el crecimiento expansivo y desordenado de la mancha urbana (Ledo, 2019). A su vez, esta expansión urbana provocó un alto fraccionamiento y venta de suelo en la periferia, que constituyó un gran negocio para los loteadores e inversionistas y una alternativa para la población que necesitaba terrenos baratos para construir sus viviendas. Ante este escenario, se encuentran entidades públicas rebasadas en su capacidad institucional para hacer frente a estos desafíos para la gestión y administración del territorio

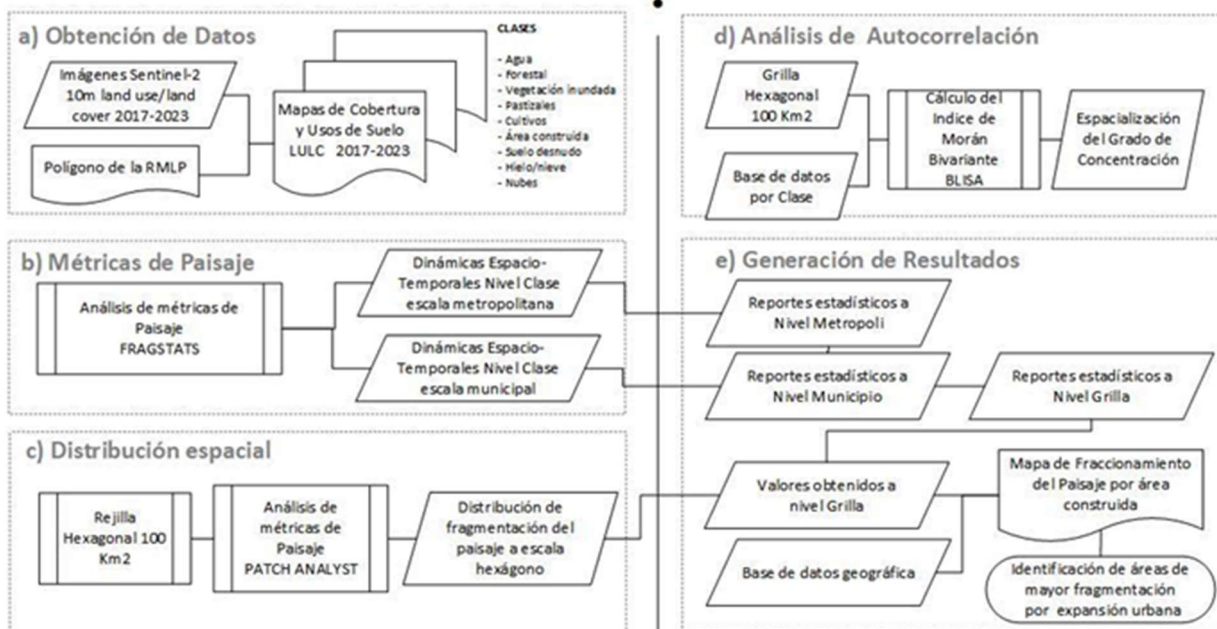
La configuración de su urbanización tiene diferentes formas (lineal, aislada y continua) de tipo orgánica, es decir se ha adaptado a las condiciones topográficas existentes, lo cual afecta al

tamaño, forma y número de parches, la conectividad entre parches y su aislamiento, entre otros, influyendo sobre numerosos procesos ecológicos.

### Marco Metodológico

A partir del trabajo de Molina & Torrez (2024) se plantea la siguiente metodología, que consiste en 5 etapas: Obtención y procesamiento de datos; cálculo de métricas de paisaje y clase; distribución espacial, hotspots de autocorrelación y finalmente, generación de resultados, como se detalla en Figura 2.

Figura 2. Esquema metodológico



Fuente: Propia en base a Onilude; Vaz (2020) y Molina & Torrez (2024).

#### Obtención de datos

El estudio se basa a partir de los productos generados por el Mapa Global de Uso/Cobertura del suelo (*Land Use/Land Cover -LULC*), derivado de imágenes Sentinel-2, de la Agencia Espacial Europea (ESA), con una resolución de 10 m. que es la mayor resolución espacial disponible con licencia abierta a nivel mundial. El algoritmo genera predicciones del Uso/Cobertura del suelo (LULC) para once clases: Agua, forestal, vegetación inundada, cultivos, área construida, suelo desnudo, hielo/nieve, nubes y pastizales como detalla Karra et al. (2021).

Los productos LULC están disponibles desde la habilitación del sensor Sentinel 2A, es decir, desde el año 2017, en ese sentido, para la investigación se utilizaron los productos del área de estudio del periodo 2017-2023. El corte temporal del estudio fue planteado a partir de la disponibilidad de imágenes satelitales que permitan un análisis adecuado a escala urbana y metropolitana.

Una vez extraídos los productos LULC, para cada una de las fechas definidas, se vectoriza a polígono, para que pueda ser procesado por el software *Patch Analyst*, donde se pueden calcular las métricas respectivas a nivel de paisaje, clase.

#### ***Métricas de Paisaje***

Para el cálculo de métricas, se han seleccionado de forma previa los índices relacionados con la fragmentación del paisaje (Número de Parches y tamaño medio de parches). Con la información obtenida se ha generado una base de datos de métricas a nivel clase para las áreas geográficas de estudio (región metropolitana y municipios) para los años 2017 y 2023.

#### ***Distribución espacial***

Para profundizar el análisis respecto a su distribución espacial, se ha trabajado con una nueva subdivisión espacial más pequeña a la municipal, para lo cual se utiliza una grilla hexagonal de 100 km<sup>2</sup>, considerando que los hexágonos son los polígonos regulares que conservan las propiedades más cercanas a las del círculo (Birch; Oom; Beecham, 2007; Fuenzalida et al., 2015).

Seguidamente, se realiza el análisis espacial identificando la reducción o incrementos de las superficies o número de parches y combinando con otra información temática de interés generando mapas coropléticos como evidencia y respuesta al objetivo planteado.

#### ***Análisis de autocorrelación***

Una vez asociada la base de datos a la grilla, se procede a identificar la autocorrelación espacial, que es la tendencia de los valores similares a agruparse en el espacio y se mide utilizando el índice estadístico espacial de Moran Bivariante (BLISA), con un nivel de significancia  $p=0,001$ .

A partir de la grilla generada y los valores obtenidos a nivel hexagonal, mediante el uso del software GeoDa se calcula las autocorrelaciones espaciales al interior de la región metropolitana, obteniendo como resultado "Hotspots" de fragmentación, que permiten identificar la concentración de la fragmentación en el paisaje de la RMLP.

#### ***Generación de resultados***

A partir de los datos obtenidos se procede a generar reportes estadísticos a nivel metrópoli, municipios y grilla. Los valores obtenidos a nivel de grilla se asocian a la base de datos geográfica y se genera el mapa de fraccionamiento del Paisaje por área Construida de la RMLP (2017 - 2023). El mapa refleja el incremento de parches según clase versus el porcentaje de crecimiento de la superficie construida.

## **Resultados de la Investigación**

### **Escala Región Metropolitana nivel Clase**

Durante la evaluación del uso de suelo en la RMLP en función de productos LULC, se ha detectado que, en el año 2017, la clase con mayor ocupación es la de pastizales, con 421.175 Ha (63,63%), seguida por la clase árboles con 86.848 Ha (13,12%) y la clase tipo suelo desnudo con 61.067 Ha (9,23%), la clase de superficie construida ocupa 34.362 Ha lo cual equivale al 5,19% de la RMLP. Se observa un cambio en la gestión 2023, la superficie construida pasa al tercer lugar, con 41.107 Ha con 6,21%. Por otro lado, las clases con mayor variación son los pastizales con un incremento de 32.301 Ha, y la clase suelo desnudo con un decremento de 25.449 Ha (Ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Variaciones por Clase a nivel Metropolitano

Clase	Año	2017				2023				Diferencia			
	Código	Superficie clase (Ha)	% clase	Número de parches	Tamaño medio del parche	Superficie clase (Ha)	% clase	Número de parches	Tamaño medio del parche	Superficie clase (Ha)	% clase	Número de parches	Tamaño medio del parche
Pastizales	11	421.175,00	63,63%	14.241	29,57	453.476,69	68,51%	12.101	37,47	32.301,69	4,88%	-2.140	7,90
Forestal	2	86.848,43	13,12%	849	102,29	87.244,71	13,18%	610	143,02	396,27	0,06%	-239	40,73
Suelo desnudo	8	61.067,79	9,23%	10.737	5,69	35.618,30	5,38%	26.758	1,33	-25.449,49	-3,84%	16.021	-4,36
Cultivos	5	50.209,84	7,59%	6.858	7,32	38.079,38	5,75%	6.205	6,14	-12.130,46	-1,83%	-653	-1,18
Superficie construida	7	34.362,95	5,19%	1.531	22,44	41.107,62	6,21%	1.907	21,56	6.744,67	1,02%	376	-0,89
Nieve/Hielo	9	4.050,18	0,61%	494	8,20	2.943,82	0,44%	332	8,87	-1.106,36	-0,17%	-162	0,67
Agua	1	1.941,92	0,29%	631	3,08	2.021,54	0,31%	638	3,17	79,62	0,01%	7	0,09
Nubes	10	1.733,91	0,26%	376	4,61	1.067,42	0,16%	446	2,39	-666,50	-0,10%	70	-2,22
Vegetación inundada	4	553,12	0,08%	85	6,51	383,68	0,06%	75	5,12	-169,44	-0,03%	-10	-1,39

Fuente: Elaborada por los autores, 2024.

Respecto a la cantidad de parches al 2017, se encuentra en primer lugar la clase pastizales con 14.241, seguido por suelo desnudo con 10.737 y cultivos con 6.858 parches. Al 2023 la clase con mayor cantidad de parches es el suelo desnudo con 26.758, seguido de pastizales con 12.101 y por cultivos con 6.205 parches. En definitiva, la clase con mayor variación es la de suelo desnudo con un incremento de 16.021 parches.

### Escala Municipal a nivel de Clase

Al llevar a cabo el ejercicio a nivel de clase, para los municipios que conforman la RMLP, se identificó que los municipios que presentan mayor fragmentación son los municipios de La Paz, El Alto y Pucarani, por otra parte, los municipios que muestran un mayor incremento en su superficie construida son La Paz, Viacha, El Alto y Laja (Ver Tabla 2). A continuación, se detallan los hallazgos por municipio:

En el municipio de Nuestra Señora de La Paz, al 2023 predomina la clase forestal con, 86.391 Ha, seguida por pastizales con 85.908 Ha (ambos con 42 %), en tercer lugar, la clase suelo desnudo con 16.276 Ha y en cuarto lugar la clase superficie construida con 11.079 Ha (5,47%). Durante el periodo 2017-2023 hubo una disminución de la superficie de clase suelo desnudo en un 4,50%, y un incremento de superficie de la clase pastizales en 3,9%, lo cual indica que el suelo desnudo ha sido cubierto por pastizales de vegetación de porte pequeño. Respecto a las métricas de paisaje, la clase suelo desnudo presenta un incremento de 7.942 parches, evidenciando un proceso de fragmentación, debido a la mezcla entre lo urbano y lo rural.

En Palca, la clase pastizales ocupa un 88% de superficie (64.375 Ha), seguido por la clase de suelo desnudo con 7,93% (5.796 Ha) y la clase Nieve o hielo con 1.220 Ha (1,67%). Se muestran cambios en el periodo 2017-2023, con el decremento de suelo desnudo (4,52%) y el incremento de pastizales (5,27%). El mayor fraccionamiento se da en el suelo desnudo con 3.133 nuevos parches.

El municipio de Mecapaca, al 2023 el 94,52% (47.582 Ha) de su suelo está ocupado por la clase pastizales, seguido por la clase superficie construida con un 2,98% (1.456 Ha) y suelo desnudo con 783 Ha (1,56%). El mayor cambio se da en la clase suelo desnudo, con la reducción del 2,43%, siendo el mismo que presenta mayor fragmentación con 442 nuevos parches.

En Achocalla, el 83,56% (16.009 Ha) de su suelo está ocupado por la clase pastizales, seguido por la clase superficie construida con un 13,83% (2.648 Ha) y la clase cultivos con 380 Ha (1,98%). El mayor cambio se da en la clase superficie construida, con el incremento del 2,84% de su superficie, respecto a la fragmentación se muestran valores pequeños de nuevos parches.

**Tabla 2.** Variaciones métricas de fragmentación a nivel Municipal

Municipio	Clase	2017			2023			Diferencia		
		Superficie clase (Ha)	% clase	Número de parches	Superficie clase (Ha)	% clase	Número de parches	Superficie clase (Ha)	% clase	Número de parches
Nuestra Señora de La Paz	Agua	796,59	0,39%	348	1.000,59	0,49%	314	204,00	0,10%	-34
	Nubes	1.721,57	0,85%	371	1.051,78	0,52%	358	-669,79	-0,33%	-13
	Pastizales	78.011,63	38,49%	3.519	85.908,89	42,38%	3.612	7.897,26	3,90%	93
	Forestal	85.724,32	42,29%	337	86.391,05	42,62%	290	666,74	0,33%	-47
	Vegetación inundada	0,27	0,00%	1	3,63	0,00%	15	3,37	0,00%	14
	Cultivos	40,13	0,02%	14	4,43	0,00%	30	-35,70	-0,02%	16
	Superficie construida	9.609,87	4,74%	290	11.079,58	5,47%	254	1.469,70	0,73%	-36
	Suelo desnudo	25.395,47	12,53%	3.461	16.276,96	8,03%	11.403	-9.118,51	-4,50%	7.942
	Nieve/Hielo	1.388,59	0,69%	270	971,52	0,48%	201	-417,07	-0,21%	-69
Palca	Agua	18,17	0,02%	16	14,45	0,02%	15	-3,72	-0,01%	-1
	Pastizales	60.524,49	82,84%	1.740	64.375,67	88,11%	1.622	3.851,18	5,27%	-118
	Árboles	217,02	0,30%	289	76,56	0,10%	187	-140,47	-0,19%	-102
	Cultivos	1.430,04	1,96%	475	1.157,23	1,58%	413	-272,81	-0,37%	-62
	Superficie construida	230,63	0,32%	142	415,60	0,57%	186	184,96	0,25%	44
	Suelo desnudo	9.099,30	12,45%	2.377	5.796,45	7,93%	5.510	-3.302,85	-4,52%	3.133
	Nieve/Hielo	1.544,97	2,11%	102	1.220,90	1,67%	77	-324,06	-0,44%	-25
Mecapaca	Agua	0,82	0,00%	11	0,26	0,00%	2	-0,56	0,00%	-9
	Pastizales	46.609,81	92,59%	452	47.582,53	94,52%	268	972,72	1,93%	-184
	Árboles	23,23	0,05%	52	23,78	0,05%	49	0,56	0,00%	-3
	Cultivos	524,75	1,04%	94	492,67	0,98%	175	-32,08	-0,06%	81
	Superficie construida	1.173,20	2,33%	120	1.456,56	2,89%	99	283,36	0,56%	-21
	Suelo desnudo	2.007,75	3,99%	1.231	783,76	1,56%	1.673	-1.223,99	-2,43%	442
Achocalla	Agua	12,93	0,07%	4	11,20	0,06%	3	-1,73	-0,01%	-1
	Pastizales	16.126,09	84,17%	171	16.009,16	83,56%	140	-116,92	-0,61%	-31
	Árboles	29,68	0,15%	3	21,18	0,11%	7	-8,50	-0,04%	4
	Vegetación inundada	0,68	0,00%	1	0,00	0,00%	0	-0,68	0,00%	-1
	Cultivos	673,37	3,51%	129	380,08	1,98%	89	-293,28	-1,53%	-40
	Superficie construida	2.103,72	10,98%	108	2.648,77	13,83%	98	545,04	2,84%	-10
El Alto	Suelo desnudo	212,63	1,11%	227	88,70	0,46%	192	-123,94	-0,65%	-35
	Agua	284,55	0,82%	18	225,16	0,65%	31	-59,39	-0,17%	13
	Pastizales	15.205,24	44,04%	491	15.629,32	45,27%	270	424,07	1,23%	-221
	Árboles	6,20	0,02%	17	0,45	0,00%	1	-5,75	-0,02%	-16
	Cultivos	529,33	1,53%	201	146,58	0,42%	66	-382,74	-1,11%	-135
	Superficie construida	15.732,92	45,57%	97	16.916,94	49,00%	103	1.184,02	3,43%	6
	Suelo desnudo	2.655,99	7,69%	486	1.553,87	4,50%	1.129	-1.102,12	-3,19%	643
Viacha	Nieve/Hielo	109,48	0,32%	16	51,38	0,15%	7	-58,09	-0,17%	-9
	Agua	17,66	0,02%	4	15,74	0,02%	10	-1,92	0,00%	6
	Pastizales	61.700,04	73,23%	2.091	65.008,86	77,16%	1.702	3.308,82	3,93%	-389
	Árboles	8,28	0,01%	5	1,81	0,00%	3	-6,48	-0,01%	-2
	Cultivos	18.758,94	22,26%	2.178	14.576,15	17,30%	1.899	-4.182,79	-4,96%	-279
	Superficie construida	3.233,34	3,84%	301	4.605,34	5,47%	392	1.372,00	1,63%	91
Pucarani	Suelo desnudo	536,87	0,64%	367	47,24	0,06%	117	-489,64	-0,58%	-250
	Agua	714,59	0,57%	226	680,60	0,55%	248	-33,99	-0,03%	22
	Nubes	0,09	0,00%	5	0,31	0,00%	7	0,22	0,00%	2
	Pastizales	86.910,50	69,65%	4.062	100.137,72	80,26%	3.171	13.227,21	10,60%	-891
	Árboles	219,62	0,18%	134	113,54	0,09%	72	-106,08	-0,09%	-62
	Vegetación inundada	548,24	0,44%	81	375,74	0,30%	54	-172,51	-0,14%	-27
Laja	Cultivos	13.652,37	10,94%	2.057	9.999,32	8,01%	1.800	-3.653,05	-2,93%	-257
	Superficie construida	1.330,02	1,07%	324	1.977,54	1,58%	408	647,52	0,52%	84
	Suelo desnudo	20.419,53	16,37%	2.456	10.809,61	8,66%	6.738	-9.609,93	-7,70%	4.282
	Nieve/Hielo	978,72	0,78%	119	679,33	0,54%	55	-299,39	-0,24%	-64
	Agua	83,13	0,12%	9	59,49	0,09%	17	-23,64	-0,03%	8
	Pastizales	53.163,18	77,57%	1.773	55.676,56	81,24%	1.360	2.513,39	3,67%	-413
	Árboles	8,15	0,01%	12	1,64	0,00%	2	-6,51	-0,01%	-10
Laja	Vegetación inundada	0,19	0,00%	2	1,71	0,00%	6	1,52	0,00%	4
	Cultivos	14.256,29	20,80%	1.743	11.061,60	16,14%	1.754	-3.194,69	-4,66%	11
	Superficie construida	710,63	1,04%	170	1.721,94	2,51%	388	1.011,31	1,48%	218
	Suelo desnudo	314,60	0,46%	205	13,24	0,02%	61	-301,37	-0,44%	-144

Fuente: Elaborada por los autores, 2024.



En el municipio de El Alto, al 2023 predomina la clase superficie construida con 16.916 Ha (49%), seguida por pastizales con 15.629 Ha (45,27%) y en tercer lugar la clase suelo desnudo con 1.153 Ha (4,5%). Durante el periodo 2017-2023 hubo una disminución de 3,19% de suelo desnudo y un incremento de 3,43% (1.184Ha) en la superficie construida del municipio. Respecto a las métricas de paisaje, la clase suelo desnudo presenta un incremento de 643 parches.

En Viacha, el 77,16% (65.008 Ha) de su suelo está ocupado por la clase pastizales, seguido por la clase superficie cultivos con el 17,30% (14.576 Ha) y en tercer lugar la clase superficie construida con un 5,47% (4.605 Ha). El mayor cambio se da en la clase cultivos, con la reducción del 4,96% de su superficie (4.182 Ha) y el incremento de pastizales con 3,93%, respecto a la fragmentación se muestran un pequeño incremento de 91 parches de la clase superficie construida.

El municipio de Pucarani, al 2023 el 80,26% (100.137 Ha) de su suelo está ocupado por la clase pastizales, seguido por la clase suelo desnudo con 8,66% (10.809 Ha), en tercer lugar, está la clase cultivos con 8,01% (9.999 Ha), finalmente la clase área construida es el 1,58% (1.977 Ha). El mayor cambio se da en la clase pastizales, con el incremento de 10,60%. Respecto a la cantidad de parches, se muestran 4.282 nuevos parches en la clase suelo desnudo y una reducción de 891 parches de la clase pastizales.

Finalmente, en el municipio de Laja, el 81,24% de su superficie (55.676 Ha) es ocupada por pastizales, seguido por la clase cultivos con el 16,14% (11.061 Ha) y la clase construida con 2,51% (1.721 Ha). La clase con mayor variación es la clase cultivos con una reducción del 4,66% y la clase pastizales con un incremento del 3,67%. Se identifica que la clase pastizales es la que más reducción de parches presenta con 413 parches, y la clase superficie construida tiene un incremento de 218 parches.

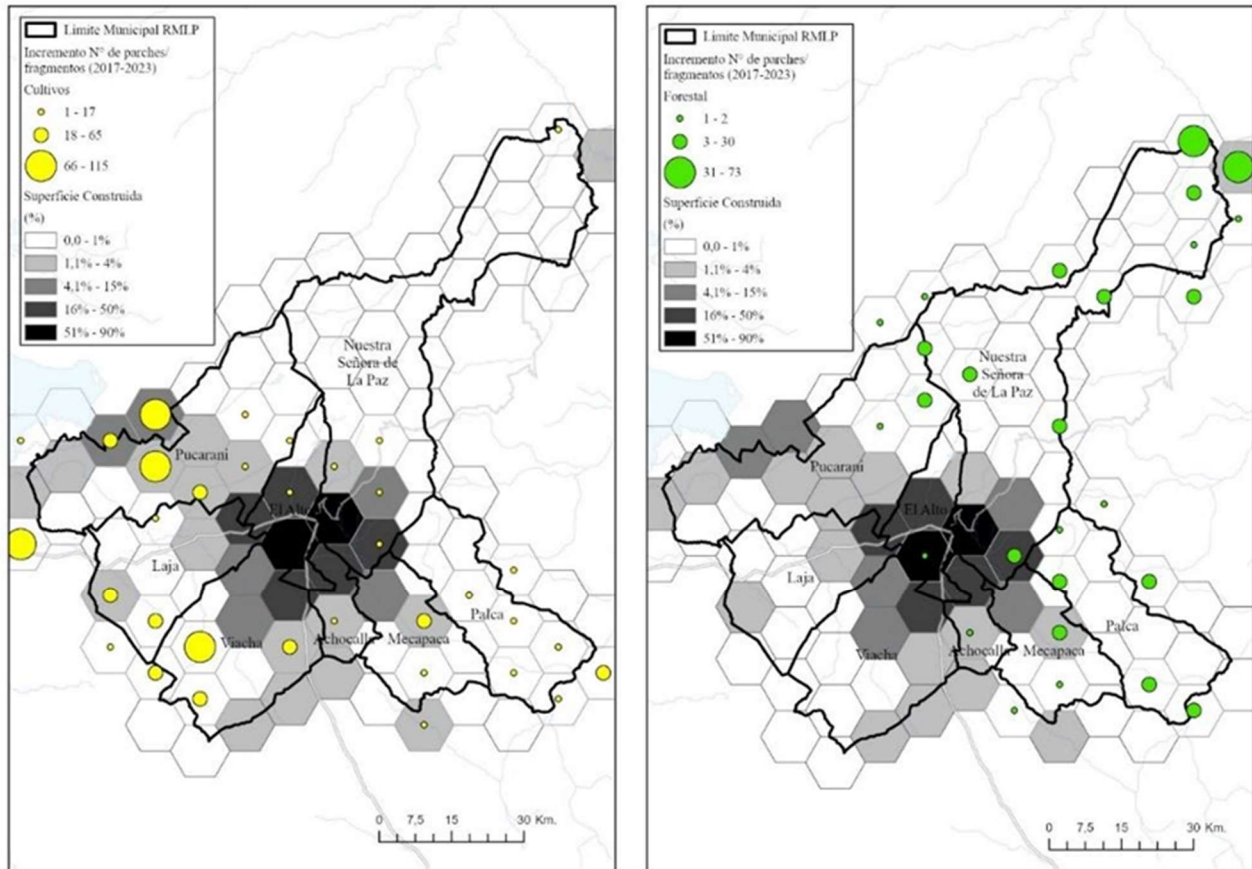
### **Distribución de la fragmentación a escala grilla hexagonal**

Una vez realizada la medición a nivel de la grilla hexagonal de 100 km<sup>2</sup>, se puede observar la distribución de la fragmentación a mayor detalle. En el primer mapa de la Figura 3 se muestra la distribución espacial de la superficie construida en porcentaje, respecto a la superficie de la Grilla al 2023, y se sobrepone el porcentaje de incremento en el periodo 2017-2023 al número de parches de la clase cultivo; en el mapa se evidencia que el incremento de parches de la clase cultivo se está dando en el área de expansión de la mancha urbana en direcciones Noroeste y Sur, además el mayor incremento de número de parches de cultivo se da en superficies de área construida entre 1,1 y 4% (Pucarani). El mapa también nos muestra que el alto fraccionamiento de la clase de cultivos no solo se está dando por la expansión de la superficie construida, como es el caso del municipio de Viacha.

En el caso del segundo mapa de la figura 3, se muestra la distribución espacial de la superficie construida en porcentaje, respecto a la superficie de la Grilla del 100 km<sup>2</sup> al 2023, y se sobrepone el porcentaje de incremento (2017-2023) en el número de parches de la clase forestal; el mapa expone que existe un incremento de parches de tipo forestal al extremo Norte de la RMLP lejos del el área de expansión de la mancha urbana (ecoregión de los Yungas), el mayor incremento de número de parches se da en superficies de área construida entre 0 y 1%, el mapa también

muestra un leve incremento de parches en superficie construida al Sur de la RMLP en los municipios de La Paz y Mecapaca, esto debido principalmente a la habilitación de suelos para proyectos inmobiliarios.

**Figura 3.** Mapas de área construida e incremento de parches RMLP

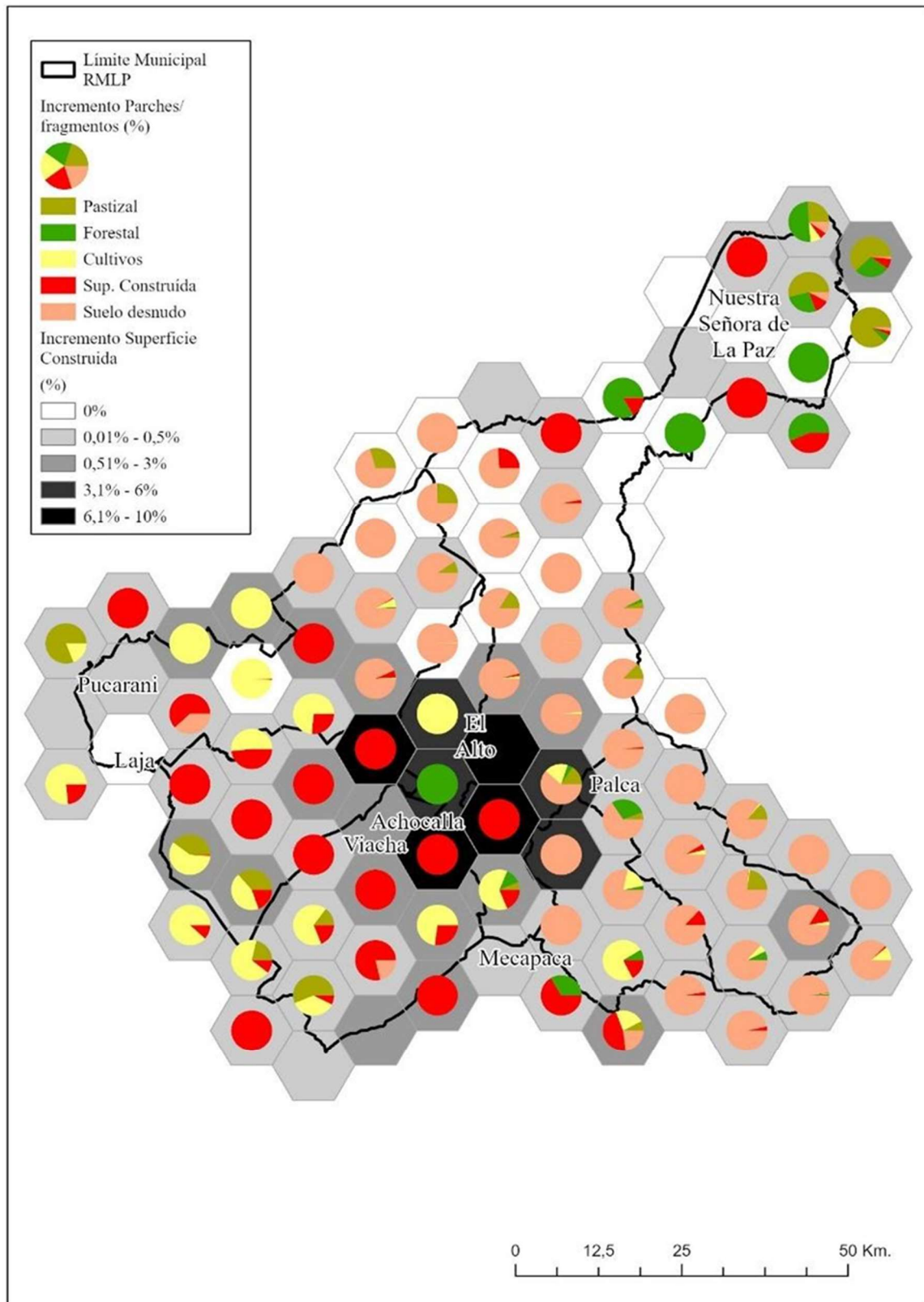


Fuente: Elaborada por los autores, 2024.

### **Análisis espacial de la evolución del proceso de fragmentación**

Realizado el análisis de la evolución del paisaje en el periodo de estudio, se puede evidenciar que existe un incremento entre el 3% y 10% de la superficie construida en una franja circundante a la mancha urbana de la RMLP, que recorre de Oeste, Sur y Este, esta franja de alta concentración tiene un ancho aproximado de 10 a 16 Km, con tendencia de expansión al Sur (Figura 4).

**Figura 4.** Fraccionamiento del paisaje por área construida de la RMLP (2017 - 2023)



Fuente: Elaborada por los autores, 2024.

Para complementar el análisis se adicionan el incremento de parches según clase, de acuerdo con las 5 clases más representativas a nivel metropolitano (Suelo desnudo, Forestal, superficie construida, cultivos y pastizal) para evidenciar la relación entre la expansión urbana y la fragmentación del paisaje. Por ello se pudo constatar que en las áreas de mayor superficie construida se presenta la fragmentación de varias clases, sin embargo, las mismas varían de acuerdo con las características de cada territorio, es decir, no se identifica un único patrón, sin embargo, se observa una predominancia en la fragmentación de áreas de cultivo al Noroeste de la RMLP en el municipio de Pucarani; de cultivo y pastizales al Suroeste de la RMLP en los municipios de Laja y Viacha; de suelo desnudo en una franja que va del norte al sureste de la RMLP, que coincide con la cadena montañosa que divide a la metrópoli, en los municipios de Pucarani, La Paz, Palca y Mecapaca; de superficie construida al Suroeste en los municipios de Viacha, Laja, Achocalla y Pucarani y al Norte en el Municipio de La Paz (Ver Figura 4).

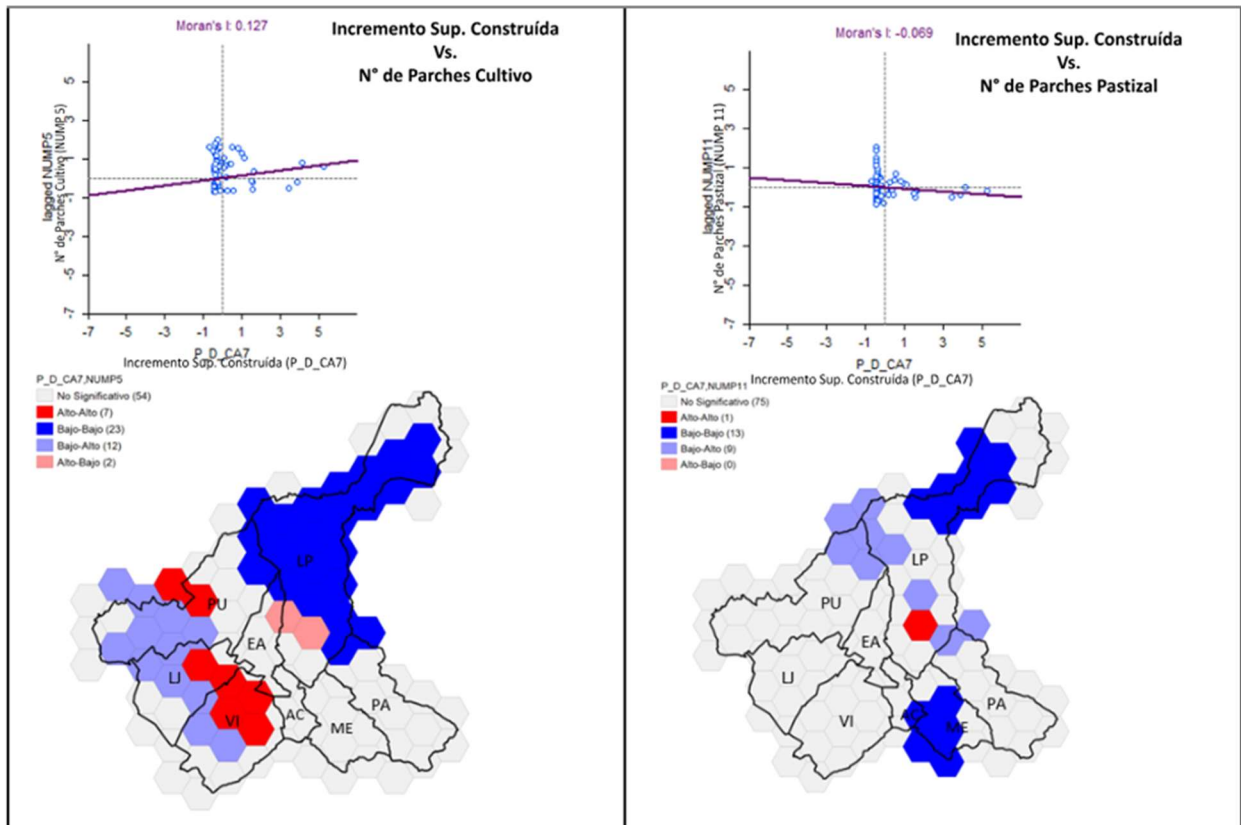
#### **Autocorrelación espacial de la fragmentación (Hotspots de autocorrelación)**

A partir de los datos obtenidos a nivel de hexágono, se analiza la autocorrelación bivalente de las clases cultivos, pastizal, suelo desnudo y área construida con el porcentaje total de incremento de superficie de área construida (2017-2023) con un nivel de significancia de 0,001.

Los resultados según la Figura N°5, muestran que la autocorrelación entre el porcentaje total de incremento de superficie de área construida y los parches de cultivo es igual a 0,12, es decir que los valores altos se concentran al suroeste de la metrópoli en los municipios de Viacha, Laja y Pucarani.

La autocorrelación entre el porcentaje total del incremento de la superficie de área construida y el número de parches de la clase pastizal es de -0,06, por lo tanto, existe una autocorrelación opuesta, donde a mayor cantidad de parches de la clase pastizal menor incremento de la superficie construida, que se localiza en la parte noreste de la RMLP, que coincide con la superficie montañosa del municipio.

**Figura 5.** Autocorrelación bivalente entre el incremento de superficie construida vs. parches de clase cultivo y parches de la clase pastizal

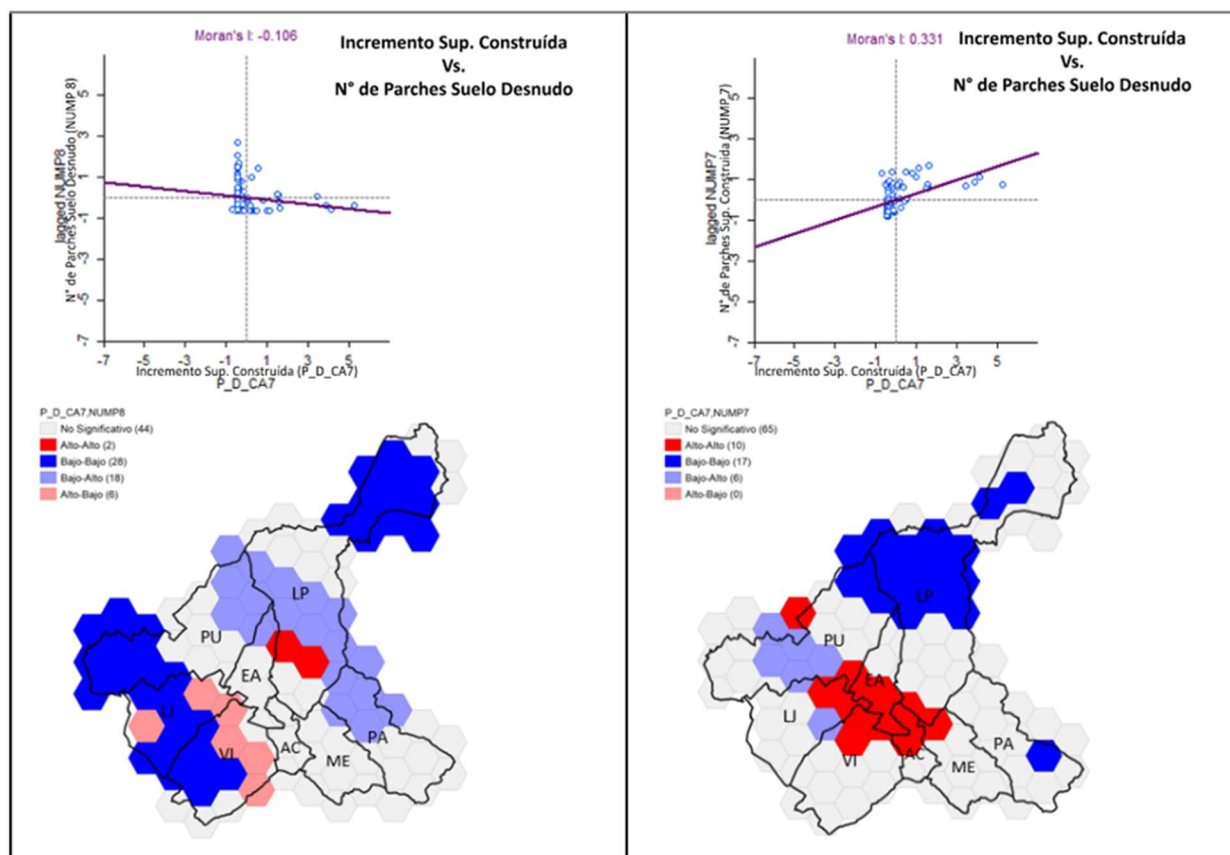


Fuente: Elaborada por los autores, 2024.

La Figura 6 muestra que la autocorrelación entre el porcentaje total de incremento de superficie de área construida y los parches de suelo desnudo es igual a -0,10, por lo tanto, existe una autocorrelación opuesta, donde a mayor cantidad de parches de la clase suelo desnudo menor incremento de la superficie construida, que se localiza en la parte norte de la RMLP, que coincide con la superficie montañosa del municipio.

La autocorrelación entre el porcentaje total del incremento de la superficie de área construida y el número de parches de la clase superficie construida es de 0,33 es decir, existe una autocorrelación positiva, donde a mayor incremento de parches de clase superficie construida existe mayor incremento de la superficie construida, esto evidencia que la expansión urbana es dispersa y fragmentada en el sector sur de la RMLP, en los municipios de El Alto, Viacha, Laja, Achocalla, Mecapaca y la parte sur del municipio de La Paz.

**Figura 6.** Autocorrelación bivalente entre el incremento de superficie construida vs. parches de clase suelo desnudo y parches de la clase superficie construida



Fuente: Elaborada por los autores, 2024.

## Conclusiones

El uso de los productos LULC permite identificar elementos geográficos a detalle, asimismo, la clasificación estandarizada de uso de suelo facilita la comparación entre diferentes periodos de años desde el 2017, así como también, permite unificar criterios para la evaluación en el estudio del paisaje.

Al tratarse de datos que evidencian la realidad de la superficie terrestre a 10 metros de resolución espacial, permiten agregar la información a escalas mayores como la de grilla hexagonal, municipal y metropolitana.

El análisis temporal de la fragmentación del paisaje, desagregado por municipios, facilita el desarrollo de políticas específicas para cada gobierno local, considerando el incremento o la disminución de cada clase. Así como también, el uso de una grilla con superficies homogéneas ha permitido tener una mejor aproximación a la problemática del estudio, permitiendo visualizar la distribución espacial de los procesos de fragmentación.

Los usos de suelo (clase) que han presentado mayor fraccionamiento en la Región Metropolitana de La Paz entre los años 2017 y 2023 son el suelo desnudo con 16.021 nuevos parches y la superficie construida con 376 nuevos parches. Y de acuerdo con el análisis espacial se evidencia que la urbanización en la RMLP fracciona en mayor intensidad, los usos de suelo de superficie construida, el suelo desnudo, el forestal y el de cultivos.

Por otra parte, los municipios que presentan mayor fraccionamiento del paisaje en la RMLP son los municipios de La Paz con el incremento de 7.866 parches, Pucarani con 3.153 nuevos parches y Palca que ha incrementado 2.869 parches. Así mismo, las áreas que presentan mayor incremento de superficie de suelo urbano en la RMLP son las áreas de expansión ubicadas en los municipios de Achocalla, Viacha y Laja.

Se ha identificado que la fragmentación del paisaje en la RMLP no cuenta con un solo patrón en las áreas de expansión urbana, sino que existen varios patrones, que responden tanto a las ecoregiones, como las características fisiográficas y altitudinales de la RMLP. El proceso de fragmentación diferenciada que se ha identificado en el estudio, se debe a que la región Metropolitana forma parte de diferentes ecoregiones y pisos altitudinales; El Alto, Viacha, Pucarani y Laja pertenecen al Altiplano y sus características geográficas del terreno de planas a semiplanas y de alta asequibilidad, permite que la expansión urbana se acelere; mientras que los municipios de La Paz, Achocalla, Mecacapa y Palca presentan un geografía accidentada con fuertes pendientes, pero con un clima más benigno, hace conveniente ante la poca disponibilidad de suelo la opción del crecimiento vertical de la urbanización y en otros sectores dificulta la edificación, principalmente en la cadena montañosa. Todos esos factores antes mencionados hacen que la RMLP cuente con esta dualidad de crecimiento y expansión urbana.

Pero este crecimiento expansivo y de bajas densidades está presionando a las áreas agrícolas que alimentan a la metrópoli, promoviendo el cambio de uso ante la alta demanda de suelo para proyectos inmobiliarios. Asimismo, presionando a fuentes y recursos naturales como los humedales alto andinos y turberas ubicadas al Suroeste de la RMLP. Los humedales altoandinos actúan como esponjas naturales, reteniendo y liberando agua de manera gradual, lo que ayuda a prevenir inundaciones y sequías; además, contribuyen a la recarga de acuíferos, asegurando el acceso a agua dulce para consumo humano, riego y actividades agrícolas, por otra parte, también son el hogar de una gran variedad de especies de plantas y animales, muchas de ellas endémicas y en peligro de extinción; finalmente capturan y almacenan grandes cantidades de carbono en su biomasa y suelo, lo que ayuda a mitigar el cambio climático en las ciudades, es decir actúan como filtros naturales, eliminando contaminantes del agua y mejorando su calidad (Ruthsatz, 2012).

La expansión urbana ha fragmentado áreas de cultivos y, en consecuencia, ha reducido la seguridad alimentaria de sus habitantes, principalmente en los municipios de El Alto, Laja y Pucarani; pero también existen casos de incremento de fraccionamiento en pastizales, concentrados en el municipio de Viacha y Laja, que implica un proceso de descanso de la tierra agrícola o procesos de erosión. Existe fraccionamiento de suelo desnudo al norte, sobre las laderas de la cordillera Real, esto puede deberse al retroceso de glaciares o al crecimiento de actividades mineras en la zona, por lo cual, se sugiere que el presente estudio oriente futuras investigaciones específicas, sobre las causas de estos cambios en los distintos paisajes de la RMLP.

En consecuencia, la caracterización de la expansión urbana, desde el enfoque de la ecología del paisaje, puede aportar con importantes insumos para el análisis territorial y para la planificación urbana, que, a su vez, permitan diseñar o ajustar instrumentos de gestión y administración territorial, con el fin de cambiar el actual modelo de expansión acelerada y

dispersa que sigue la RMLP y resguardar sus importantes ecosistemas que tienen un impacto a nivel global.

Mediante el estudio realizado, se logra el objetivo de identificar los distintos patrones en la fragmentación del paisaje a partir de la expansión urbana en la Región Metropolitana de La Paz (RMLP), en un periodo de 6 años 2017-2023 y se analiza posibles afectaciones en distintos ecosistemas a distintas escalas.

Por otra parte, se verifica la hipótesis planteada para el estudio, evidenciando que la expansión urbana dispersa de la RMLP fragmenta el paisaje de diversa forma según cada ecorregión y que se produce en mayor intensidad en la ecorregión de Puna, considerando las características en pendiente, sin embargo, es necesario aclarar que las diferencias no solo obedecen a la ecorregión, sino que también deben considerarse las características fisiográficas y altitudinales del área de estudio.

En última instancia, el incremento de la superficie en la clase área construida y el fraccionamiento de los diversos usos de suelo en su entorno durante el período 2017-2023 demuestra que la mancha urbana de la RMLP se encuentra en concordancia con el modelo de ciudad dispersa, caracterizado por la baja densidad, la discontinuidad y fragmentación de usos del suelo en el territorio. Por lo tanto, el empleo de métricas de ecología del paisaje es útil para la determinación de las características espaciales de los cambios a diferentes escalas, principalmente la desagregación a grilla hexagonal.

## Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Boliviano de Urbanismo – IBU, por la oportunidad de compartir la presente investigación, así como también agradecemos el apoyo del “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (CNPq), de la “Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil” (CAPES) y de la “Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (FUNCAP).

## Referencias bibliográficas

- Barros, M. P. de. (2018). Métricas da paisagem como ferramenta de avaliação dos efeitos da urbanização na estrutura da paisagem: o caso de Cuiabá, Brasil. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 7(4), 411–432. <https://doi.org/10.19177/RGSA.V7E42018411-432>
- Birch, C. P. D., Oom, S. P., & Beecham, J. A. (2007). Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. *Ecological Modelling*, 206(3–4), 347–359. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2007.03.041>
- Borsdorf, A., & Borsdorf, A. (2003). Cómo modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana. *Eure-revista Latinoamericana De Estudios Urbano Regionales*. <https://doi.org/10.4067/s0250-71612003008600002>
- Bustamante, Ramiro & Grez, A. A. (1995). Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. *Ambiente y Desarrollo*. 11. 58-63.



- Chen, Q., Zheng, L., Wang, Y., Wu, D., & Li, J. (2023). Spillover effects of urban form on urban land use efficiency: evidence from a comparison between the Yangtze and Yellow Rivers of China. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30(60), 125816–125831. <https://doi.org/10.1007/S11356-023-30976-W/TABLES/2>
- Cruz-Muñoz, F. (2020). Patrones de expansión urbana de las megaurbes latinoamericanas en el nuevo milenio. *EURE*, 47(140). <https://doi.org/10.7764/EURE.47.140.02>
- Cuadros, A. (1996). *Ciudad y territorio: la construcción del espacio nacional*. Cooperación Holandesa en Bolivia. <https://books.google.com.br/books?id=7BW5AAAAIAAJ>
- Dávila, A., Alatorre, L. C., & Bravo-Peña, L. C. (2021). Análisis de la evolución espacio-temporal del uso de suelo urbano en la metrópolis de Chihuahua. *Economía, Sociedad y Territorio*, 21(65), 1–27. <https://doi.org/10.22136/EST20211618>
- Dadashpoor, H., & Shahhossein, G. (2024). Defining urban sprawl: A systematic review of 130 definitions. *Habitat International*, 146, 103039. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2024.103039>
- Franqueville, A. (1990). Towns and urban network in Bolivia. *Cahiers d'Outre-Mer*, 43(171), 273–288. <https://doi.org/10.3406/caoum.1990.3344>
- Gonçalves, D. (2014). *A paisagem em geografia: Diferentes escolas e abordagens*.
- Harvey, D. (2021). *Cidades rebeldes: De o direito à cidade a revolução urbana*. Livraria Martins Fontes Editora.
- Ibisch, P. L., & Mérida, G. (Gonzalo). (2003). *Biodiversidad: la riqueza de Bolivia: estado de conocimiento y conservación*. Editorial FAN.
- Inostroza, L., Baur, R., & Csaplovics, E. (2013). Urban sprawl and fragmentation in Latin America: A dynamic quantification and characterization of spatial patterns. *Journal of Environmental Management*, 115, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.11.007>
- Jacob, P. P., Drummond, J. A., & Barreto, C. G. (2021). A contribuição do espraiamento urbano de Brasília para a fragmentação da paisagem de Cerrado ao redor da cidade. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 13, e20200420. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.E20200420>
- Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J. C., Mathis, M., & Brumby, S. P. (2021). Global land use / land cover with Sentinel 2 and deep learning. 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, 4704–4707. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499>
- Kowe, P., Mutanga, O., Odindi, J., & Dube, T. (2020). A quantitative framework for analysing long term spatial clustering and vegetation fragmentation in an urban landscape using multi-temporal landsat data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 88, 102057. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102057>
- Lahoz, E. (2010). Reflexiones medioambientales de la expansión urbana. *Cuadernos Geográficos*, 293-313.

- Ledo, M. del C. (2019). Hogares transnacionales en las ciudades de La Paz y El Alto, Bolivia. *Bulletin de l'Institut Français d'études Andines* [En Línea], 48 (3), 355–380. <https://doi.org/10.4000/BIFE.A.11206>
- Loayza, A. P., & Loiselle, B. A. (2008). Preliminary Information on the Home Range and Movement Patterns of *Sturnira lilium* (Phyllostomidae) in a Naturally Fragmented Landscape in Bolivia. *Biotropica*, 40(5), 630–635. <https://doi.org/10.1111/J.1744-7429.2008.00422.X>
- Maillard, O., Vides-Almonacid, R., Flores-Valencia, M., Coronado, R., Vogt, P., Vicente-Serrano, S. M., Azurduy, H., Anívarro, R., & Cuellar, R. L. (2020). Relationship of Forest Cover Fragmentation and Drought with the Occurrence of Forest Fires in the Department of Santa Cruz, Bolivia. *Forests* 2020, Vol. 11, Page 910, 11(9), 910. <https://doi.org/10.3390/F11090910>
- Molina, R., & Torrez, G. (2024). Influencia de la expansión en la fragmentación del paisaje de la región metropolitana de santa cruz - Bolivia. *Estudios Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, 22(3), 43–65. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/18711>
- Nasehi, S., & Imanpour namin, A. (2020). Assessment of urban green space fragmentation using landscape metrics (case study: district 2, Tehran city). *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(4), 2405–2414. <https://doi.org/10.1007/S40808-020-00809-7>
- Nucci, J. C. (2007). Origem e desenvolvimento da ecologia e da ecologia da paisagem. *Revista Geografar*, 2(1). <https://doi.org/10.5380/geografar.v2i1.7722>
- Onilude, O. O., & Vaz, E. (2020). *Data Analysis of Land Use Change and Urban and Rural Impacts in Lagos State, Nigeria*. <https://doi.org/10.3390/data5030072>
- ONU Habitat. (2021). *Primer reporte del estado de la prosperidad de las ciudades de Bolivia | UN-Habitat*. <https://unhabitat.org/pt-pt/node/161291>
- Ortiz-Báez, P., Cabrera-Barona, P., & Bogaert, J. (2021). Characterizing landscape patterns in urban-rural interfaces. *Journal of Urban Management*, 10(1), 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.01.001>
- Pereira dos Santos, C. A. (2020). Landscape fragmentation in the Rio Preto Basin (BHRP) - Cerrado Bahian. *Fronteiras*, 9(1), 256–272. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i1.p256-272>
- Pinto, J. (2006). *Ecología del paisaje en el municipio de San Julián departamento de Santa Cruz – Bolivia*. [https://museonoelkempff.org/sitio/Informacion/tesis/Tesis\\_BS\\_JPinto\\_Final.pdf](https://museonoelkempff.org/sitio/Informacion/tesis/Tesis_BS_JPinto_Final.pdf)
- Pinto-Ledezma, J. N., & Rivero Mamani, M. L. (2014). Temporal patterns of deforestation and fragmentation in lowland Bolivia: implications for climate change. *Climatic Change*, 127(1), 43–54. <https://doi.org/10.1007/S10584-013-0817-1/METRICS>
- Rojas, C., de la Barrera, F., Aranguíz, T., Munizaga, J., & Pino, J. (2017). Efectos de la urbanización sobre la conectividad ecológica de paisajes metropolitanos. In *Revista Universitaria de Geografía* (Vol. 26, Issue 2). Departamento de Geografía Universidad Nacional del Sur. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-42652017000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652017000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

- Ruthsatz, B. (2012). Vegetation and ecology of the high Andean peatlands of Bolivia. *Phytocoenologia*, 42(3–4), 133–179. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2012/0042-0535>
- Sadigov, R. (2022). Rapid Growth of the World Population and Its Socioeconomic Results. *TheScientificWorldJournal*, 2022, 8110229. <https://doi.org/10.1155/2022/8110229>
- Salgueiro, T. B. (2012). Paisagem e geografia. *Finisterra*, vol. 36 n.o 72 (2001). <https://doi.org/10.18055/FINIS1620>
- Schier, R. A. (2003). Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. Raega - O Espaço Geográfico em Análise, 7. <https://doi.org/10.5380/raega.v7i0.3353>
- Servicio Departamental de Autonomías de La Paz. (2021). *Estrategia de Desarrollo Integral Sostenible Metropolitana de La Paz*. <https://autonomias.lapaz.gob.bo/api/uploads/normativa/6500af2d70a9c396e6808ecd/6509c2eb70a9c396e680c4d9>
- Seto, K. C., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M. K. (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *PloS One*, 6(8), e23777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>
- Vasconcelos, P. A. (2020). *O universo conceitual de Milton Santos*. <https://doi.org/10.24824/978854444116.9>
- Valenzuela, G. B., Gonçalves, R. M., de Oliveira Sousa, P. H. G., & de Araujo Queiroz, H. A. (2019). Fragmentação da Paisagem na Região Metropolitana de Aracaju-SE, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, 71(3), 647–678. <https://doi.org/10.14393/RBCV71N3-46623>