

TEKS DEL SUD

Publicación de periodicidad anual evaluada por pares, que contiene artículos y ensayos científicos, notas de divulgación, reseñas y entrevistas.

Apunta a expandir las voces de arquitectos, urbanistas, geógrafos, historiadores, sociólogos, antropólogos, filósofos y artistas.

El nombre de la revista responde a las acepciones "Teks del Sur" (que significa "tejer, construir") y "Sud (del sur)", integrando aquellas expresiones que miran a la arquitectura como tejidos que posibilitan el hábitat y la convivencia humana en sus diferentes escalas.

#05-01 (2023) — #05-07 (2023) — #05-01 (2023)

La revista mantiene y fomenta como política editorial la participación de autores y miembros del equipo editorial, ajenos a la propia Universidad y unidades académicas vinculadas.

La revista mantiene y fomenta como política editorial la participación de autores y miembros del equipo editorial, ajenos a la propia Universidad y unidades académicas vinculadas.

Olgalicia del Pilar Palmett Plata (CO)

Homogeneidad y heterogeneidad espacial en el análisis de patrones del paisaje en Medellín

Homogeneity and spatial heterogeneity in the analysis of patterns of the landscape in Medellín

Licenciada en Educación Básica. Colegio Mayor de Antioquía

Magister en Diseño de Paisaje, Colegio Mayor de Antioquía

Gestora del semillero de investigación SIARI, Colegio Mayor de Antioquía

Esta publicación adhiere a la Iniciativa de Acceso Abierto de Budapest, llevando a la práctica sus recomendaciones y definiciones

Homogeneidad y heterogeneidad espacial en el análisis de patrones del paisaje en Medellín

Homogeneity and spatial heterogeneity in the analysis of patterns of the landscape in Medellín

Palabras clave

Patrones de paisaje, análisis espacial, imagen satelital, geoprocesamiento

Keywords

Landscape patterns, spatial analysis, satellite imagery, geoprocessing

Palmett Plata, O., Henao-Tamayo, A. S., (2023). Homogeneidad y heterogeneidad espacial en el análisis de patrones del paisaje en Medellín. *Teks del Sud* 5 (1). 5-14. Salta, Argentina: EUCASA

Fecha de recepción / aceptación

20-02-2023 / 20-03-2023

Tipo de contribución

Artículo científico

Bio

Olgalicia del Pilar Palmett Plata

olgalicia.palmett@colmayor.edu.co

[LinkedIn](#)

Ana Sofia Henao Tenayo

ana.tamayo@colmayor.edu.co

Licenciada en Educación básica con énfasis en tecnología e informática. Magister en Diseño del Paisaje. Docente investigador en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería. Compiladora y gestora de las Memorias de la Semana de la Facultad, evento de divulgación académico investigativo con ISSN de publicación semestral. Gestora del semillero de investigación SIARI de la Tecnología en delineante de arquitectura e ingeniería. Docente de las optativas II y III en la línea de paisaje para el programa de Arquitectura.

Arquitecta. Especialista en planeación urbana. Docente investigador en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería. Asesora en el semillero SIARI de la Tecnología en delineante de arquitectura e ingeniería. Creadora de la sublínea de investigación de Ilustración arquitectónica.



00

Resumen

Abstract

El análisis espacial cualitativo estuvo dividido en cinco partes para detallar la estructura: territorio, región, lugar, ubicación y paisaje, esto permitió obtener una primera imagen de la estructura del paisaje o unidad visual de paisaje (UVP) y su constitución. La cuantificación formal del paisaje fue dada por índices, como el Índice de área, densidad y variabilidad; Índices de forma; Índices de ecotono y hábitat interior; Índices de distancia, vecindad y conectividad, y el Índice de diversidad del paisaje.

The city of Medellín, in its rural configuration, has five corregimientos: Santa Elena, San Sebastian de Palmitas, San Antonio de Prado, Altavista and San Cristobal and its urban structure is concentrated in the city of Medellín. From this study area, it is intended to demonstrate the selection, application and interpretation of the variations in the ordering patterns and the spatial structure of the landscape of the Medellín area during the last cuarenta years.

This approach seeks to answer the question: What are the variations in the ordering patterns and the spatial structure of the landscape in the Medellín area, which make it possible to identify action measures and conservation of landscape ecosystem services in the city? For this, it has been necessary to explore and combine digital tools, geomatics, remote sensing and digital photogrammetry, which allow, from different graphic possibilities, to analyze landscape elements and their dynamics, as well as a detailed study of land uses for their valuation. and contrast.

The geoprocessing carried out on the satellite images obtained to qualify and quantify land uses has allowed us to appreciate the landscape of Medellín from a spatial perspective, yielding striking, exceptional and artistic images that have a technical, communicative and aesthetic purpose. The qualitative spatial analysis was divided into five parts to detail the structure: territory, region, place, location and landscape, this allowed to obtain a first image of the landscape structure or landscape visual unit (UVP) and its constitution. The formal quantification of the landscape was given by indexes, such as the Index of area, density and variability; Shape indices; Ecotone indices and interior habitat; Distance, neighborhood and connectivity indices, and the Landscape Diversity Index.

La ciudad de Medellín, en su configuración rural, cuenta con cinco corregimientos: Santa Elena, San Sebastián de Palmitas, San Antonio de Prado, Altavista y San Cristóbal, y su estructura urbana se concentra en ciudad de Medellín.

De esta zona de estudio se pretende evidenciar la selección, aplicación e interpretación de las variaciones en los patrones de ordenamiento y la estructura espacial del paisaje del área de Medellín durante los últimos cuarenta años.

Dicho planteamiento busca responder a la pregunta ¿Cuáles son las variaciones en los patrones de ordenamiento y la estructura espacial del paisaje en el área de Medellín, que permiten identificar medidas de actuación y conservación de los servicios ecosistémicos del paisaje en la ciudad? Para ello, ha sido necesario la exploración y combinación de herramientas digitales, geomática, teledetección y de fotogrametría digital, que permiten desde diferentes posibilidades gráficas, analizar elementos del paisaje y sus dinámicas, así como el estudio detallado de los usos del suelo para su valoración y contraste.

El geoprosesamiento realizado a las imágenes satelitales obtenidas para cualificar y cuantificar los usos del suelo, ha permitido apreciar el paisaje de Medellín desde la óptica espacial, arrojando imágenes llamativas, excepcionales y artísticas que tienen un propósito técnico, comunicativo y estético.

01

Introducción

Una sociedad verdaderamente seria, responsable, organizada y comprometida con el futuro de sus asociados (ciudadanos), tiene la obligación ética de desarrollar un ejercicio permanente (sistémico, prospectivo, estratégico, territorial y deliberativo) de planificación del desarrollo, como soporte insoslayable para alimentar y orientar los procesos de toma de las decisiones más acertadas y necesarias, que sean requeridas para la promoción y concreción de las acciones de mayor impacto y capacidad de transformación del bienestar y la calidad de vida poblacional. Ello exige, por tanto, el desarrollo y construcción sistemática de un pensamiento traducible en acciones estratégicas que conlleven, finalmente, la transformación cultural en la manera de ser, actuar y habitar el territorio departamental (Gobernación de Antioquia, 2016: 25).

El departamento de Antioquia y en él, el municipio de Medellín, así como otros departamentos del territorio colombiano, requieren de actualización y detalle en las actividades y posibilidades que brinda su territorio, dadas las transformaciones producto de interacciones en el tiempo. Es así, como desde la academia, la investigación y el diseño de paisajes se emprende un análisis del área de Medellín que permita consignar las variaciones existentes en cada uno de los paisajes registrados en el territorio antioqueño, a través del análisis de las variaciones que han acaecido en los patrones de ordenamiento y la estructura espacial del territorio.

Uno de los aspectos más relevantes que puede colegirse de los ejercicios de planificación estratégica referidos, es la necesidad ineludible de avanzar en la comprensión del departamento de Antioquia como un sistema territorial complejo abierto y flexible, como prerrequisito indispensable para acometer el proceso de planificación y ordenación territorial correspondiente a una realidad socioespacial manifiesta en la existencia de nueve subregiones, cada una de ellas con sus particularidades y heterogeneidades (con delimitación de zonas a su interior), lo cual reclama procesos de gestión del desarrollo territorial diferenciales y acordes a dichas características (Gobernación de Antioquia, 2016: 27).

Es preciso anunciar que este artículo forma parte de los resultados del proyecto de investigación titulado *Variaciones de los patrones de ordenamiento y estructura espacial del paisaje en Medellín*, financiado por la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia y el CICMA, Centro de Investigaciones del Colegio Mayor de Antioquia, estudio llevado a cabo por docentes de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería de los programas de Arquitectura, Tecnología en Delineante de Arquitectura e Ingeniería y la Tecnología en Gestión Catastral

En este marco se ha querido responder al interrogante ¿Cuáles son las variaciones en los patrones de ordenamiento y la estructura espacial del paisaje de Medellín, que permiten identificar medidas de actuación y conservación de los servicios ecosistémicos en la ciudad? Cuyo objetivo general está comprometido a evidenciar la selección, aplicación e interpretación de las variaciones en los patrones de ordenamiento y la estructura espacial del paisaje del área de Medellín durante los últimos 40 años, para dar respuesta a la identificación de medidas de actuación y conservación de los servicios ecosistémicos del paisaje en este contexto.

La ecología del paisaje se constituyó en una de las estrategias utilizadas para calcular las transformaciones, modificaciones y variaciones del territorio en el tiempo, esta disciplina aporta rutas procedimentales, a través del estudio de las métricas de análisis espacial de los patrones de ordenamiento y la estructura espacial del paisaje. Para ello, fue necesario el uso y combinación de herramientas digitales, sistemas de información geográfica SIG y fotogrametría satelital, así como la percepción detallada y perspicaz de todos los componentes del paisaje para su valoración y contraste.

La ruta metodológica y procedimental sugerida por la ecología del paisaje hacen comprensibles las estructuras y los procesos espaciales que relacionan la naturaleza y la sociedad a nivel del paisaje, sin desconocer el conjunto de objetivos ambientales para ofrecer perspectivas variadas en la solución a los problemas ligados a la utilización de las tierras, desde lo local hasta lo global (Burel & Baudry, 2002). En este caso, se tuvieron en cuenta aspectos como la información geográfica contenida en las imágenes satelitales como la localización, el tiempo de la captura y los atributos visibles de los componentes del paisaje (Troll, 2003: 71-84), como su configuración o estructura de los elementos (mosaico, matriz, parches y corredores); la función de los elementos y el comportamiento ante los procesos geográficos como la dispersión, los disturbios, la migración y degradación, causantes de las transformaciones y fragmentación del paisaje ocasionando la pérdida de hábitat, biodi-

versidad y servicios ecosistémicos (Forman, 1995).

La ecología del paisaje analiza y enfatiza la interacción entre el patrón espacial y el proceso ecológico, es decir, las causas y consecuencias de la heterogeneidad espacial a través de diferentes escalas (Turner et al, 2001).

Un complemento fundamental en este estudio lo hizo la fotogrametría aérea o satelital. La *fotogrametría* es una técnica básica en la elaboración cartográfica, ya sea con énfasis topográfico, temático o catastral. La fotogrametría permite obtener información de la geometría del objeto (superficie o territorio), es decir, información bidimensional y tridimensional con el uso de varias fotografías mediante zonas de solape. Normalmente se pueden obtener fotografías aéreas a partir de capturas satelitales que muestran la curvatura de la tierra, por lo que hay que realizar una corrección del ángulo terrestre, para poder realizar sobre las fotos las mediciones requeridas a una escala constante. Esta corrección permite obtener lo que se denomina una *ortofotografía*.

Para utilizar el registro fotogramétrico se seleccionaron satélites como el Landsat en las misiones 5, 6, 7 y 8, los cuales aportaron la obtención sistemática (a intervalos de tiempo regulares) de imágenes a una escala espacial variable, para estudiar procesos que tienen lugar a diferentes escalas espacio-temporales, y utilizando regiones del espectro electromagnético.

La herramienta digital utilizada fue estratégicamente el software ArcGis y QGis, de la familia de aplicaciones SIG de escritorio. ArcGis permite crear y diseñar mapas y escenas 3D, incluye una completa caja de herramientas analíticas y un marco de modelado que permiten realizar prácticamente cualquier tipo de análisis espacial. ArcGis crea, administra y conecta información geográfica usando datos de entidades y tabulares, imágenes, mapas online, datos 3D y mucho más. Las relaciones espaciales en los estudios biológicos, por ejemplo, se han convertido en algo indispensable, hasta el punto que programas como ArcGis y QGis, han adaptado el estudio de patrones y geoestadística para ser aplicado en las ciencias naturales.

Un aspecto transversal a la metodología ha sido el análisis multicriterio, lo que implica que, para solucionar el problema y los objetivos propuestos, en el cual participan varios criterios o variables, puede llevar a tener o, a contemplar la existencia de varias soluciones diferentes, por lo tanto, se debe elegir, cuál es la mejor alternativa. Para ello fue preciso, una etapa de evaluación de los múltiples criterios porque hay que sopesar los pros y los contras de forma racional y sistemática.

02

Metodología

02.01. Primera Fase Metodológica

El estudio se llevó a cabo en Medellín cuya configuración rural cuenta con cinco corregimientos: Santa Elena, San Sebastián de Palmitas, San Antonio de Prado, Altavista y San Cristóbal y se podría decir que su estructura urbana se concentra en la ciudad de Medellín. Se catalogaron cada uno de los corregimientos y la zona urbana de Medellín como Unidades geográficas y/o espaciales de paisaje denominadas Unidades Visuales de Paisaje (UVP), como se ilustra en la Figura 1.

En la primera etapa se realizó el rastreo bibliográfico sobre la delimitación espacial realizada al departamento de Antioquia, el Valle de Aburrá y Medellín en particular. También, se realizó la delimitación cartográfica y visual de las unidades geográficas de paisaje en la zona de estudio, mediante la ayuda de análisis semi detallados del área seleccionada, mapas protocolizados y fotografías satelitales, conducentes a diferentes exploraciones técnicas que permitieron llevar a cabo procesos de análisis de tipo cualitativo y cuantitativo.

Para este trabajo se utilizaron fotografías satelitales de la zona de estudio, realizando descargas del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), de una imagen mínima por año de los cuarenta años que abarca el estudio. En esta actividad fue necesario un análisis detallado de los datos espaciales sobre las características

de forma, manejo y almacenamiento (Towers, 2002). La característica de forma, se pudo tratar realizando recorte o croquizado de la zona de estudio y las UVP, llegado su momento. Esto fue necesario debido a que la descarga de imágenes presentaba un área capturada demasiado grande para el espacio requerido, contraste presentado en la Figura 2.

La característica de manejo, fue tenido en cuenta desde varios aspectos. De manera inicial, al descargar una imagen satelital es contar con un paquete de varias imágenes comprimidas que al descomprimirse deben estar albergadas en una carpeta separada para no confundirlas con otras imágenes de otra descarga. Esto requirió tener mucha organización y meticulosidad en la descompresión de las imágenes y cuidar la característica final de su almacenamiento.

Al analizar los datos espaciales se tuvieron en cuenta dos parámetros, inicialmente, la posición absoluta de la zona de estudio a partir de las coordenadas geográficas, las cuales se presentaron estables y precisas, mientras que el segundo parámetro tomado en relación con la posición relativa de la zona de estudio a partir de los elementos que se encontraban en su interior, se presentaron con una variabilidad difícil de cuantificar, para lo cual fue preciso tener en cuenta las variables geográficas y las relaciones espaciales entre ellas.

Otro aspecto relevante en el análisis de las imágenes satelitales fue la escala, en donde su escogencia resultó estratégica, ya que la escala de análisis determina la estructura espacial y los detalles observables de los elementos del paisaje contenidos en el territorio de cada UVP. Se consultó de manera exhaustiva, sobre las particularidades de cada unidad de paisaje y las variantes metodológicas que implican la selección de índices o métricas; criterios para valorar las características espaciales de los usos del suelo en concreto, en lo que respecta a fragilidad, forma/compacidad y aislamiento o dispersión, en función de la capacidad de las mismas para evaluar estas características.

02.02. Segunda Fase Metodológica

En la segunda fase se realizaron operaciones con y entre las imágenes de los distintos años, como combinación de bandas, cálculos del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y geoprocetamiento como el rasterizado y el poligonizado, procesos que permitieron distinguir con mayor claridad, los distintos patrones a estudiar en las UVP, la distribución y tipología. En la Tabla 1, se exponen los distintos patrones que se consideraron más representativos para evaluar las variaciones en el territorio seleccionado durante los cuarenta años de estudio.

Los patrones o entidades que nos permiten identificar las relaciones existentes en un territorio son muchos, y dependen de las actividades que se den en el uso específico del suelo, sin embargo, para este estudio se han escogido seis patrones o entidades que se repiten de forma muy variable en el territorio, ellos son: la vegetación primaria (VP), la vegetación secundaria (VS), los cultivos (CU), la zona urbanizada (ZU), la rural (ZR) y los cuerpos de agua (CA).



Fig. 1. Imagen de la zona de estudio. Foto mapa de los Corregimientos. Fuente: <https://www.lavozdeloscorregimientos.com>



Fig. 2. Superposición de la imagen satelital descargada (recuadro blanco) sobre el territorio. En color rojo, se encuentra delimitada el área de estudio. Fuente: Elaboración propia

La combinación de bandas estuvo supeditada al origen de las imágenes y la misión que las capturó, lo que hizo necesario realizar diferentes tipos de combinación de bandas para las distintas misiones Landsat 5, 7 y 8 presente en las imágenes descargadas, tal como se describe en la Tabla 2.

El cálculo del NDVI, se llevó a cabo a partir de dos metodologías (Tabla 3). Un primer cálculo se realizó de forma controlada llevando la fórmula a la calculadora ráster y obteniendo allí la expresión gráfica del cálculo como se muestra en la Figura 3. La fórmula utilizada fue: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ en donde NIR es la banda infrarrojo cercana. Otro método utilizado resultó ser más automático, realizado con el complemento SAGA del software QGIS, utilizado para esta operación.

Por otro lado, era necesario distinguir los demás patrones para cuantificar su variación, de la misma manera como ya se tenía clara la variación de los patrones de vegetación y zona urbanizada. Era preciso aplicar una mayor diferenciación de cada patrón inclusive relacionada con la vegetación y la zona urbanizada ya fuera esta rural o urbana. Fue cuando el geoprocesamiento aportó grandes beneficios, ya que el paso de rasterizado a poligonizado de las imágenes destacó los píxeles de forma mucho más precisa, al igual que rebajó el número de colores, lo que permitió diferenciar con mayor claridad los colores asociados a cada patrón, proceso detallado en la Figura 4. La asignación de color para cada patrón se realizó por repetición en las imágenes y su localización, lo que llevó a considerar la homogeneidad en las características del suelo, colores que se muestran en el lado izquierdo de la Tabla 1.

En el segundo momento se realizó también el diseño de instrumentos de recolección y análisis de la información. Se procedió a reseñar, diferenciar y consignar gráficamente las variables y la transformación en cada unidad de paisaje y sus parcelas. Luego se involucró la ponderación, comparación y análisis de las diversas transformaciones del territorio, detallando las características, estancamientos, aumentos y disminuciones de cada patrón de paisaje.

02.03. Tercera Fase Metodológica

La cartografía obtenida en la etapa anterior se importará en el software utilizado de QGIS, instrumento para el cálculo de las métricas de análisis de ecología del paisaje. Este software, de acceso libre disponible en la red, permite obtener un amplio conjunto de métricas de este tipo, el cual es considerado como el programa más completo en lo que se refiere a la diversidad y capacidad para desarrollar cálculos métricos (Aguilera, 2012: 93-121).

En esta fase se da el tratamiento de las variables geográficas: bordes, límites, distancia, área, perímetro, con las relaciones espaciales establecidas entre los patrones de paisaje: se tuvieron en cuenta las relaciones direccionales, topológicas de vecindad e incidencia, conectividad y de distancia. Dicho tratamiento involucró la cuantificación, cualificación e interpretación de la información, aplicando la primera Ley geográfica de Tobler. "Todo está relacionado con todo

lo demás, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las lejanas" (Tobler, 1970: 236), lo cual, no solo tiene validez en la vida real sino en el análisis espacial.

Acertamos en considerar que gracias al empleo del software QGIS y, a partir de los mapas de uso del suelo residencial del área de Medellín para los años seleccionados, se pudieron obtener los valores de las distintas métricas escogidas para este estudio. Estos valores nos permitieron medir la estructura del paisaje en los cuatro momentos diferentes (uno por cada década) y poder inferir los procesos de cambio que han tenido lugar en el período comprendido entre las cuatro fechas.

02.04. Cuarta Fase Metodológica

Llegó el momento para la contrastación y la autocorrelación espacial de patrones de paisaje entre los años en estudio, aplicando los patrones de distribución uniforme, aleatoria y/o agrapada (Mateucci & Colma, 1982). La distribución de las especies depende de diferentes factores bióticos como abióticos, sin embargo, tratándose de la vegetación, en los bosques existe una distribución que tiende a ser homogénea y uniforme, como un mecanismo para contrarrestar y minimizar la competencia por la luz solar.

Una vez establecida la cuantificación de cada uno de los patrones (Tabla 1) en los años de estudio para cada unidad visual de paisaje UVP, se aplican las métricas (Tabla 4) que permitieron establecer con claridad, qué patrones habían aumentado o disminuido en el tiempo de estudio y las posibles causas de sus modificaciones, compaginando y/o cruzando información de diversas fuentes, para justificar dichos cambios.

Patrones representativos a analizar		
Color	Patrón	Clasificación
	Vegetación primaria	Bosques naturales
	Vegetación secundaria	Bosques en transición
	Cultivos	Bosques plantados
	Zona urbanizada	Zona urbana
	Zona rural	Zona rural
	Cuerpos de agua	Zonas húmedas, ríos, quebradas

Tabla 1. Especificación de los patrones más representativos en el área de estudio, con su nombre y clasificación. A la izquierda se exponen los colores con los cuales fue codificado cada patrón. Fuente: Elaboración propia

Combinación de bandas		
Color	Landsat 5 y 7	Landsat 8
Color natural	3-2-1	4-3-2
Falso color - Vegetación	7-4-2	6-5-4
Falso color - Zona urbana	4-5-1	7-6-4
Vegetación sana	5-4-1	5-6-2
Tierra-Agua	4-5-3 / 5-4-3	5-6-4

Tabla 2. La combinación de bandas se detalla para las misiones Landsat 5 y 7 separadamente de la combinación utilizada para las imágenes conseguidas con la misión Landsat 8. A la izquierda se enuncian el nombre final que se le da a la combinación de diversas bandas. En la columna central se encuentran las combinaciones de bandas utilizadas para las imágenes obtenidas con los satélites Landsat 5 y 7 los cuales requirieron bandas diferentes a las imágenes obtenidas con el satélite Landsat 8, las cuales se encuentran a la derecha. Fuente: Elaboración propia

Índice de textura espacial	Descripción
Desviación	Vegetación, población, zona rural o urbana, urbanización, cultivos
Medidas sobre matriz de coincidencia	Homogeneidad, contraste, disimilaridad o heterogeneidad
Dimensión textural	Diámetro de copa, altura del árbol, edad, área basal, diámetro a la altura del pecho

Tabla 3. Los índices se utilizan para valorar cuantitativamente (numérico) y medir las variaciones de los elementos del paisaje y/o su estructura espacial

Métricas	Descripción
Composición	Teselas, bordes, matriz y parches, mosaicos
Configuración	Distancia, proximidad, densidad, fragmentos, conectividad, cohesión
Forma	Tamaño, porcentaje, área, dimensión, complejidad
Diversidad	Riqueza, heterogeneidad, homogeneidad, compacidad, dominancia

Tabla 4. Las métricas son valoraciones cualitativas del paisaje (nominales), definiendo las cualidades de sus elementos presentes

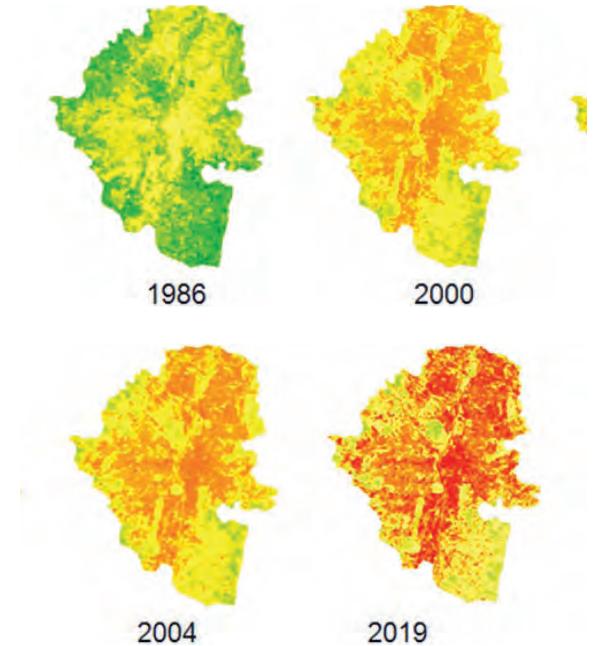


Figura 3: Área de estudio croquizada de 1986, 2000, 2004 y 2019 (Arriba) aplicada en ellas el cálculo NDVI con calculadora ráster, en donde se observa claramente la cubierta vegetal en distinta gradación de colores verdes y la zona de suelo duro o urbanizada en colores rojizos, para los mismos años se realizó el cálculo NDVI con el complemento SAGA (Abajo). Fuente: Elaboración propia



Figura 4. Imagen que muestran la transición y/o cambios que sufre una imagen en los geoprocesamientos de rasterización y poligonizado, efecto que define los patrones espaciales evidentes en el territorio. Fuente: Elaboración Propia

Resultados y conclusiones

La heterogeneidad espacial surge cuando se trabaja con unidades espaciales y/o geográficas (países, municipios, secciones o regiones), en las que un fenómeno o efecto se distribuye de diferente manera sobre el espacio o territorio, lo que puede evidenciarse, por ejemplo, con el uso de índices direccionales (norte, sur, arriba, abajo, centro) (Chasco, 2003), relacionados con la posición geográfica, la cuantificación del área o perímetro que distinguen, diferencian y particularizan las unidades geográficas usadas como muestras en el estudio y mostradas en la Tabla 6.

La ecología del paisaje estudia toda la complejidad de las relaciones causa y efecto entre los seres vivos que habitan el territorio o secciones específicas del paisaje (González, 2012), de ahí que se hayan tenido en cuenta las interacciones espaciotemporales del paisaje y sus componentes estructurales (fauna, flora y aspectos culturales) (Forman, 1983). Desde esta instancia se escogen los patrones a analizar sobre el territorio, de manera muy general como son el de vegetación primaria, vegetación secundaria, cultivos, zona urbana, zona rural y cuerpos de agua, tal como se muestran en la Tabla 1.

Si se quisiera precisar qué es la homogeneidad espacial, se tendría que plantear desde la posibilidad que se presenta cuando existe compartimentación espacial entre áreas en determinado aspecto. Definido por Díaz de Terán, una unidad homogénea es una porción de territorio con cierta homogeneidad interna, tanto a nivel de descripción como de integración de variables (Díaz de Terán, 1988: 215-237). El uso de métodos basados en unidades de paisaje irregulares ha permitido la aplicación de valoraciones, de forma conjunta, sobre las unidades geográficas de paisaje (UVP) poligonales o irregulares, considerándolas homogéneas desde el punto de vista biofísico, es decir, comparten variables geográficas difíciles de particionar o dividir, sin embargo, se comparten las variables de bordes, límites, distancia y perímetro (Fig. 5) en donde los aspectos ecológicos se presentan de forma sucesiva irremediadamente, en las cuales se comparten adicionalmente atributos y patrones.

03.02. La heterogeneidad de la tierra induce a la heterogeneidad del paisaje

La heterogeneidad hace referencia a la estructura que forma el relieve, el cual involucra o genera diferentes tipos de distribución de la vegetación o cualquier otro individuo vivo, en donde la heterogeneidad se evidencia en dos patrones: el patrón de distribución y el patrón de dispersión. El patrón de distribución puede presentarse en tres formas diferentes: "uniforme, aleatoria y agrupada" (Matteucci & Colma, 1982:7). Una muestra de la distribución agrupada, es la trama urbana de las UVP, como se muestra en la Fig. 6.

La distribución en cualquiera de los tres tipos básicos de patrones determina el grado de dispersión de una especie, por ejemplo, la distribución agrupada es el tipo más común de dispersión que se encuentra en la naturaleza. Sin embargo, la dispersión aleatoria se presenta con bastante frecuencia en la comparación que se estableció por años sobre todo en las periferias, mostrado en la Fig. 7.

Si se combina a los patrones de distribución los tres conceptos ecológicos aportados por Morláns, relacionados con los componentes, atributos y características del paisaje, como son la estructura, la función y la dinámica, el análisis de los procesos espaciales resulta ser más profundo.

La estructura está asociada a los cambios a nivel geográfico que evidencian la heterogeneidad espacial horizontal y distribución espacial de los elementos del paisaje y determina la configuración y proporción de los diferentes parches y corredores (Fig. 8); la función es establecida desde la ecología resultante de las interrelaciones con los factores bióticos y abióticos, los cuales evidencian los procesos ecológicos en relación al espacio las cuales incluyen la heterogeneidad de la tierra y la forma de interacción de cada elemento en el paisaje; y la dinámica establecida desde la sociología, la historia y la economía, la cual aborda la compleja relación de la sociedad humana con la naturaleza, más comúnmente llamada o reconocida como actividad antrópica referida a los tipos de hábitat y de parches resultantes; expresados en los diferentes tipos de coberturas naturales y antropizadas (Morláns, 2000).

03.03. Homogeneidad y heterogeneidad del paisaje

En el estudio de paisaje realizado, con alto corte territorial, un aspecto relevante ha sido la división y delimitación del paisaje en zonas identificadas como unidades visuales de paisaje (UVP), porciones de territorio con características similares, o lo que se podría catalogar, como un grado de homogeneidad análogo, el cual otorga sentido a la división y particularidad de cada unidad diferenciada. Para este ejemplo de ejercicio investigativo (Fig. 8), se asume la homogeneidad de forma relativa, ya que su uso es estratégico para poder diferenciar paisajes similares de paisaje distantes de acuerdo a ciertas características de variación a partir de parámetros de referencia, alcanzados por el grado de detalle o no del estudio realizado.

03.04. Heterogeneidad del paisaje

Para enfatizar las acciones que llevaron a la división territorial en unidades geográficas, espaciales y/o de paisaje (UVP), se precisa el uso de criterios de forma y contenido (Fig. 9), para lo cual, la forma se analiza a partir de métodos de geometrías irregulares (homogeneidad espacial) y el contenido se analiza usando métodos de geometrías regulares (heterogeneidad espacial interna).

03.05. Combinaciones espaciales de la heterogeneidad y homogeneidad

La homogeneidad asumida al interior en los patrones de estudio (VP, VS, CU, ZU, ZR, CA), en cada Unidad Visual de Paisaje UVP, cada uno de ellos presenta heterogeneidad intrínseca, ya que, por ejemplo, la vegetación secundaria VS varía en cada UVP por su posición geográfica, clima y dinámica humana. Lo mismo pasa con los

UVP	Superficie (km²)	Hab.	ρ (h/km²)
San Sebastián Palmitas	57,54	8194	133
San Cristóbal	49,54	112088	704
Altavista	27,41	40911	637
San Antonio de Prado	60,40	158305	1164
Santa Elena	70,46	15896	154
Medellín	116,65	2529403	6643

Tabla 5. Unidades geográficas designadas como Unidades Visuales de Paisaje y sus características homogéneas y heterogéneas del paisaje espacial. Fuente: Elaboración propia



Figura 5. Área de Medellín con los bordes, límites y perímetro expuestos. Fuente: Elaboración propia



Figura 6. Dispersión presente en las tramas urbanas de las UVP, tomando imágenes satelitales a 100m de altura. Se destaca la distribución urbana a partir de dos patrones de dispersión: aleatoria y agrupada. De izquierda a derecha, San Sebastián de Palmitas, San Cristóbal, San Antonio de Prado, Santa Elena, Altavista, Medellín. Fuente: Elaboración propia

demás patrones, sin embargo, los 6 patrones se constituyen en una constante para analizar en las 6 UVP. En el patrón de CU Cultivos, se encuentra mayor variación intrínseca, ya que cada región o UVP tiene cultivos diferentes.

03.06. Índices de Heterogeneidad y homogeneidad del paisaje

La heterogeneidad del paisaje involucra que los elementos que se encuentran conformando el territorio son variados y que entre ellos se establece una combinación equilibrada que permite la articulación de procesos espaciales más allá de los índices de área, densidad y forma. Es la forma en la que se encuentran distribuidos y/o mezclados los distintos elementos del paisaje lo que garantiza que el paisaje sea heterogéneo, es decir, que los índices de variabilidad, distancia, vecindad y conectividad (Towers, 2002) tengan mayor relevancia y no el hecho de encontrar los patrones agrupados, esto por el contrario, genera homogeneidad y por ende, vulnerabilidad en el paisaje. El equilibrio en la mezcla de los componentes del paisaje es la clave para la heterogeneidad y sostenibilidad del paisaje.

En el estudio realizado la heterogeneidad del paisaje se asoció a la biodiversidad expresada en una cantidad innumerable de elementos destacados en la colorimetría, lo que se constituyó en un problema adicional de entrada, ya que no se pretendía estudiar la variación y/o transformación espacial de todos los elementos del territorio, lo que impuso una selección y disminución de variables a través de cálculos expuestos en la metodología, como fueron el cálculo de índice NDVI y la selección de la combinación de bandas más apropiado para el estudio en curso.

En la Fig. 10 se hace un muestreo de las distintas imágenes resultado de las combinaciones de bandas, en donde se buscaba reducir el número de variables expuestas en la colorimetría. Como se observa, hay una fuerte variación en los resultados arrojados con las imágenes del año 1997 en comparación con las imágenes resultado del año 2000, siendo más pertinentes para el objetivo, las imágenes del año 2000 y más exactamente la combinación de banda de vegetación sana, en donde se presentan los patrones de estudio bien definidos con el color que se consideró característico.

03.07. Fragmentación del paisaje

La fragmentación de hábitats es un proceso de cambio paisajístico con fuertes repercusiones en la viabilidad de las poblaciones, la estructura de las comunidades y el funcionamiento de los ecosistemas en todo el planeta (García, 2011: 77-100). Se presenta como un cambio en la estructura y/o configuración de los hábitats dentro del paisaje, el cual implica la transformación de un estado heterogéneo de hábitat continuo, enriquecido y dominante a un estado homogéneo de parches separados, empujados y fragmentados. Situación que se presenta, por ejemplo, en el patrón de cultivos CU en la UVP de Santa Elena, en la autocorrelación espacial realizada entre los años 1986 y 2019, como se muestra en

la Fig. 11.

Por medio de la correlación espacial se pueden comprender las variaciones y similitudes entre diferentes patrones que conforman el paisaje. Este fenómeno se da por medio de la interpretación relacionada con los grados de proximidad y de asociación de los elementos que conforman la imagen que para este caso se llama “vecindad” determinada por una matriz que establece varios criterios indispensables para el análisis. Por ejemplo, es estratégica la vecindad que se establece entre la zona rural ZR, los cultivos CU y los cuerpos de agua CA; los cultivos CU y la vegetación se-cundaria VS; y la vegetación secundaria VS y la vegetación pri-maria VP. Mientras que la zona urbana ZU, se presenta más independiente y solo se deja influenciar por la dispersión y agrupación, constituyéndose en las mayores variantes y transformaciones.

Para esta metodología de análisis, el criterio básico es que, si los patrones se agrupan de manera conglomerada o uniforme, presentan autocorrelación positiva y si por el contrario es disperso o aleatorio evidencia ausencia de correlación, es negativo.

La fragmentación del paisaje puede ser el resultado de procesos naturales como la dispersión de las especies, los cuales, en sus nuevos asentamientos, generan mosaicos de hábitats con otras comunidades ecológicas. Sin embargo, la fragmentación del paisaje como producto de la actividad humana impacta la relación paisaje-individuo en aspectos tanto biológicos como sociales. Rueda sostiene que toda actuación sobre el suelo genera impactos e implica transformaciones en el medio natural, de carácter reversible, parcialmente reversible o irreversible. Por tanto, el contexto espacial y los elementos definidores del perfil ambiental pueden condicionar la viabilidad y coherencia de los objetivos del nuevo urbanismo ecológico (Rueda, 2012).

De acuerdo a las diferentes fases metodológicas trabajadas en este proyecto, el interés principal de conocer los cambios y variaciones en la conformación del paisaje de Medellín en las últimas cuatro décadas, involucra la separación o disminución de la cobertura vegetal, el cual se presenta como un fenómeno que se ha venido incrementando de manera progresiva en los últimos años. Los fragmentos de paisaje, las partes separadas o simplemente la tierra que ha tenido un cambio o un deterioro, arrojan características determinantes para comprender la conformación y la transformación del paisaje. Para este proyecto, comprender los patrones de fragmentación en su tamaño, forma y distribución ha sido prioridad y un reto desde la biodiversidad del ecosistema. Tal y como lo afirma Guevara, “La percepción del patrón de fragmentación depende de la escala espacial y temporal, y esto es esencial para entender la estructura y el funcionamiento del paisaje”, (Guevara, 2004: 111-134)

03.08. Interpretación de las imágenes

El color y el brillo de los píxeles son parámetros para describir e interpretar el contenido de las imágenes satelitales, en donde la combinación y/o conexión de píxeles diferenciados y distribuidos de

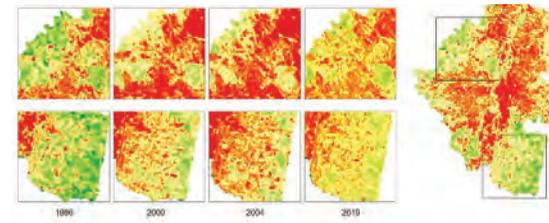


Figura 7. Variación mostrada en la dispersión de la zona urbana en dos puntos críticos de la UVP de Medellín, luego de haber realizado el cálculo NDVI. Se observan los cambios de aumento en la urbanización de las periferias (color rojizo) y la disminución considerable de la cobertura vegetal (Color verde). Fuente propia

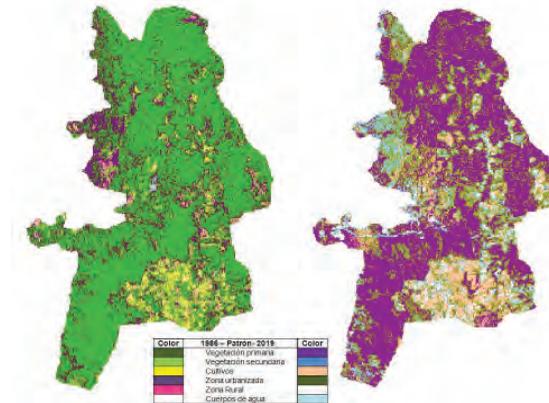


Figura 8. UVP de Santa Elena 1986 (izquierda) y 2019 (derecha), en donde se exponen los patrones de forma diferenciada con cierto grado de interpretación en la lectura de la colorimetría, en donde la heterogeneidad del paisaje resultó ser uno de los retos más grandes. Fuente propia.



Figura 9. Unidades geográficas de paisaje, en las cuales se dividió la zona de estudio. De izquierda a derecha, la imagen atraviesa un proceso de rasterización hacia uno de poligonización. Fuente propia



Figura 10. Imágenes de la zona de estudio de los años 1997 y 2000, con diferentes combinaciones de Bandas: Color natural, falso color vegetación, falso color zonas urbanas, vegetación sana y contraste tierra-agua. Se observan las diferencias marcadas en los resultados y evidencia de la heterogeneidad espacial. Fuente propia.

forma particular en el territorio, representa texturas que contienen información espacial sobre las variaciones tonales en cada banda, observable en la Fig. 12, lo que hace evidente las diferencias entre los valores de píxeles adyacentes.

La banda más adecuada para realizar análisis de texturas en vegetación es el infrarrojo cercano (NIR). En el análisis de las texturas las características de la entropía, la variancia, la correlación y el contraste son variables en función del dominio espectral y la resolución espacial del objeto de estudio como pueden ser la forma, la dimensión y distribución espacial (Kayitakire et al., 2006: 390-401)

03.09. Atributos de las unidades geográficas (UVP)

La variedad en las superficies cromáticas presentada en las imágenes, muestran características y atributos visuales que expanden las posibilidades de análisis, predominando lo visual. García-Romero defiende el tema visual como un aspecto más para la valoración del paisaje, según parámetros de identificación observables que diagnostican su calidad escénica. La calidad visual del paisaje se basa en la identificación del estado fisionómico de las comunidades vegetales, analizando parámetros medibles sobre las características de dichas comunidades. Para paisajes sin cobertura vegetal se usan criterios de "naturalidad", valor escénico e importancia para el equilibrio y la dinámica natural (García-Romero, 2005: 77-100).

La realización del croquizado permite realizar una delimitación visual del área de estudio y las UVP, muestra en detalle, por medio del color, las características más relevantes que inciden sobre el territorio a analizar.

Para llevar a cabo el delineado y especificación cuantitativa de cada patrón de paisaje, se usa la imagen RGB escogida de cada década para cada UVP, de allí se diferencian a partir de las texturas y colores para luego modelar los campos correspondientes a cada patrón para agrupar el total de superficie involucrada en un solo archivo. Para ello se procede a realizar archivos poligonales o capas de archivo shape independientes y al finalizar toda el área del patrón se agrupa como una entidad compacta e independiente.

Sobre la imagen RGB de la UVP se redibujan los polígonos correspondientes a cada patrón y al concluir se realiza un archivo combinado agrupando todos los polígonos de ese patrón, allí se puede recodificar el color y calcular el área de ese patrón. En la Fig. 13, se observan imágenes en donde se destacan las superficies cromáticas de las UVP en estudio, en las cuales se incluyen los distintos patrones en el mosaico de paisaje.

Los cálculos de áreas y/o superficie se pueden hacer por polígonos independientes o por archivo combinado final. Sin embargo, para los dos casos es recomendable construir una tabla de atributos, en donde repose el número del archivo (id), el código del patrón (Patrón) y el área correspondiente área (Km²).

La interpretación y el procesamiento de las imágenes satelitales toma una interpretación artística en el sentido que la experiencia se convierte en una vivencia estética en relación con cada individuo

construyendo de manera integral una narrativa visual a partir de las características o criterios más relevantes y que está sujeta a múltiples interpretaciones como lo son color, tono, brillo, textura y tamaño.

Josef Albers, en su libro Interacción del color, pone siempre por delante la relatividad de la sensación cromática, que varía enormemente no solo en relación con el medio físico que actúa como estímulo sino también según el contexto, el observador, la iluminación e infinidad de aspectos secundarios asociados con cada uno de esos factores principales (Albers, 1979). De esta manera, el color, aparte de ser un elemento fundamental en el proceso técnico y de interpretación visual; genera una experiencia sensorial y sensible debido a las variaciones cromáticas de las imágenes. En este caso, se generan otro tipo de estímulos y sensaciones que desde otra perspectiva transforman el paisaje.

Las actividades del hombre han llevado al deterioro de los bosques debido a la expansión de la frontera agrícola, la ganadería, la infraestructura y la minería; y otras causas indirectas asociadas a los cambios sociales, políticos y económicos, como lo son el crecimiento demográfico, la tenencia de la tierra y políticas sectoriales (Armenteras y Rodríguez, 2014).

Las causas de deforestación varían según el tipo de bosque. Sin embargo, en la mayoría de países latinoamericanos las principales causas de deforestación son el acceso a los mercados, las actividades agrícolas y forestales (Armenteras, Espelta, Rodríguez y Retana, 2017: 139-147). En el caso de los bosques amazónicos, la extracción de madera, la expansión de cultivos y las áreas de pastos dedicadas al pastoreo extensivo constituyen los principales motores de deforestación (Martino, 2007: 3-22). Se ha sugerido que a medida que aumenta la apertura de comercio la deforestación también ha aumentado (Rodríguez y Nunes, 2016: 85-97).

El aumento en el número de fragmentos, la reducción de su área y el aumento en la distancia entre estos, son una limitante para algunos procesos ecológicos como la dispersión de semillas, la colonización, la migración y la interacción entre especies (Matteucci, 2004: 1-29). Igualmente, el proceso de fragmentación hace que aumenten la susceptibilidad de los bosques y el riesgo de sufrir impactos (Cordero y Boshier, 2003). Dentro de los impactos más recurrentes de los procesos de fragmentación se encuentra la mayor exposición e influencia de los ambientes periféricos que se evidencia en una interfase entre el bosque y su matriz circundante, conocida como borde (Gurrutxaga y Lozano 2008: 171-183). El borde generado facilita el sobrepastoreo en áreas de bosque (Ormazábal, Ávila, Mena, Morales y Bustos, 2013: 449-460), la incidencia de incendios (Armenteras, Gonzales y Retana, 2013: 73-79) y la colonización de plantas invasoras (Bustamante y Grez, 1995: 58-63), en definitiva, a la degradación de las funciones ecológicas de los ecosistemas (Jiang, Cheng, Li, Zhao y Huang, 2014: 240-252).

Es por ello que, considerando la exposición del paisaje a procesos continuos de deforestación por cambios en el uso del suelo, se hace necesario detectar y hacer seguimiento de estos cambios, lo

cual puede realizarse a partir del análisis multitemporal de la cobertura del suelo, así como de métricas del patrón espacial (Zhou et al, 2016). El análisis de los cambios de cobertura permite detectar y estimar la extensión de los cambios (Canzio, 2006), mientras que la cuantificación de la configuración espacial a través de métricas permite describir la estructura y dinámica de cambio de los elementos estructurales del paisaje (Matteucci, 2004: 1-29).

Sin embargo, el conocimiento de los cambios de cobertura y estructura del paisaje por sí solos no bastan para confirmar las asociaciones que se dan entre patrones y procesos (Matteucci, 2004: 1-29). Por lo cual, se hace necesario emplear metodologías alternativas que permitan analizar las relaciones sociales entre la dinámica de transformación del paisaje, los procesos subyacentes que conducen al cambio (Vieira y Castillo, 2010: 1322-1333) e investigaciones de procesos ecológicos (Aguilera y Botequilla- Leitão, 2012: 93-121).

El análisis integrado de los cambios de cobertura, configuración espacial y factores sociales que inciden en ellos son poco frecuentes (Torres-Gómez et al., 2009: 73-82), por ello, este estudio buscó integrar metodologías a diferentes escalas espaciales y temporales que contribuyan al desarrollo de alternativas de manejo para la conservación planificada de los ecosistemas del área de Medellín rural y urbana. Para lo cual, el objetivo general de este estudio fue evidenciar la selección, aplicación e interpretación de las variaciones en los patrones de ordenamiento y la estructura espacial del paisaje del área de Medellín durante los últimos 40 años. Para dar cumplimiento al objetivo general de este estudio, los objetivos específicos de la etapa 1 fueron: Establecer indicadores para la monitorización y seguimiento de los cambios en los patrones de distribución espacial que han tenido lugar en el área de Medellín; Llevar a cabo la definición y selección de los índices a emplear, además de discutir su aplicabilidad en el entorno de Medellín; Adquirir las imágenes de cada una de las décadas en estudio con las herramientas adecuadas que permitan realizar el análisis cualitativo espectral gráfico de patrones y cuantitativo a partir de métricas e índices del paisaje.

Y los objetivos específicos de la etapa 2 fueron: Establecer las diferencias y los cambios a nivel cualitativo y cuantitativo de los patrones de ordenamiento teniendo en cuenta el estudio de contraste; Evaluar los cambios en los patrones de ordenamiento y su influencia en el paisaje y en su interpretación; Detallar gráficamente, mediante imágenes mapeadas, los elementos que conforman la estructura espacial del paisaje del área de Medellín. Por lo tanto, se realizó un análisis de coberturas del suelo y se determinaron las principales métricas del paisaje; para analizar las relaciones sociales que han influenciado la dinámica de transformación del paisaje; y así caracterizar la composición y estructura de los patrones de paisaje presentes en el área de estudio.

Este ejercicio permitió diferenciar centros de población y tierras no agrícolas, cultivos esporádicos o permanentes, pastizales naturales o cultivados, bosques o vegetación natural, terrenos húmedos, tierras improductivas, zonas de recreo, turísticas o de esparcimiento, caminos, vías, zonas de reserva, ríos, lagunas, y demás. De acuerdo a los elementos que se requirieron destacar, se realizó la

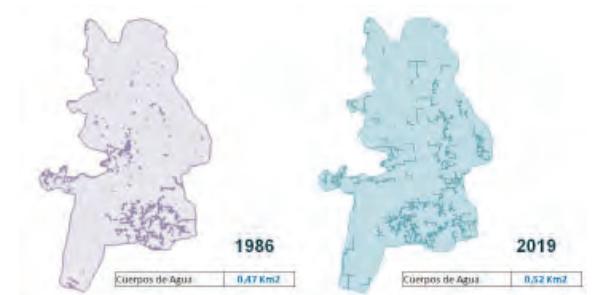


Figura 11. UVP de Santa Elena en autocorrelación espacial del patrón CU Cultivos del año a 1986 a 2019, mostrando una variación visible en su dispersión aleatoria y en la cuantificación disminuida de 1,47 km² a 1,23 km² de cubrimiento, evidenciando una gran parcelación de los cultivos aledaños y asociados con la zona rural por contigüidad. Fuente propia.

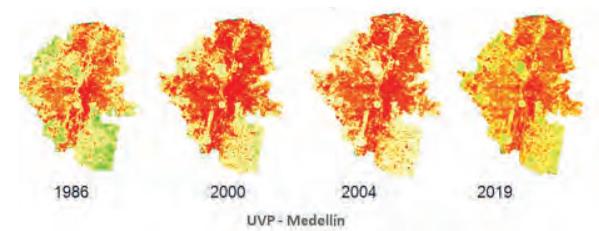


Figura 12. Cada recuadro de la figura, presenta una combinación de banda diferente de diferentes UVP, en donde se puede apreciar la colorimetría que representa la irregularidad del territorio. Fuente propia.

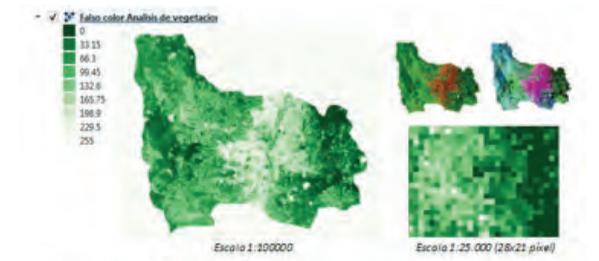


Figura 13. Interpretación de la combinación de bandas falso color análisis de vegetación. Autocorrelación espacial con matriz de vecindad tipo Alfil o Bishop de 12 vecinos o más. (MORAN, 1948). Fuente Propia.

codificación por medio de las imágenes y sus interpretaciones, que resultaron ser abundantes, para ello, existe un grupo completamente establecido de métricas adecuadas para este estudio de las características espaciales del paisaje. A través de la geo estadística se pudieron establecer patrones espaciales de condiciones medioambientales que permiten la conservación de ecosistemas específicos.

04. Discusión de los resultados

La metodología de análisis del paisaje permitió conocer las características de la estructura geográfica, compuesta o detallada en unidades visuales de paisaje (UVP), para reducir y permitir el estudio de la complejidad del territorio. Se clasificaron seis unidades geográficas llamadas unidades visuales de paisaje (UVP), constituyendo éstas la estructura taxonómica del paisaje lo que facilitó la aplicación de índices para conocer la heterogeneidad espacial del paisaje. Se reconoce con esta metodología la relación intrínseca de la heterogeneidad espacial del paisaje con los atributos y riqueza del territorio involucrada con la posición geográfica que enfatiza la relación directa con la distribución de la biodiversidad.

El análisis a partir de imágenes satelitales involucra un reto significativo en el reconocimiento de la biodiversidad natural vinculada a la heterogeneidad del paisaje, complejizando la definición e interpretación de patrones espaciales de paisaje y el reconocimiento de las directrices del ordenamiento territorial implícito.

Ha sido de gran interés haber establecido relaciones entre los patrones a partir de los índices y las métricas para detectar los procesos en el territorio que enfatizan y estiman la heterogeneidad espacial, como una condición y característica preferiblemente presente para garantizar la dinámica y sostenibilidad del paisaje. Por otro lado, el estudio y caracterización de la heterogeneidad espacial del paisaje también remarca la calidad de la disimilaridad o aproximación entre las unidades geográficas, lo que permite identificar tendencias y visiones prospectivas.

La representación y el análisis artístico de las cartografías para evaluar las dinámicas urbanas y suburbanas, posibilita identificar problemáticas actuales del territorio que permite a los individuos tomar conciencia sobre la manera como se organiza y se estructura el paisaje. El uso de metodologías de análisis a partir de imágenes satelitales, contribuye al desarrollo de estrategias urbanas desde múltiples enfoques, algunas de ellas, para el desarrollo de una ciudad sostenible, así como el uso racional de los recursos naturales, el crecimiento planificado de la ciudad, el uso racional del suelo, la reducción de la población, el control de la calidad del aire, movilidad urbana alterna y otros, son acciones que ayudan a equilibrar las actividades humanas, balancear el desarrollo humano.

03

Discusión de resultados

La metodología de análisis del paisaje permitió conocer las características de la estructura geográfica, compuesta o detallada en unidades visuales de paisaje (UVP), para reducir y permitir el estudio de la complejidad del territorio. Se clasificaron seis unidades geográficas llamadas unidades visuales de paisaje (UVP), constituyendo éstas la estructura taxonómica del paisaje lo que facilitó la aplicación de índices para conocer la heterogeneidad espacial del paisaje. Se reconoce con esta metodología la relación intrínseca de la heterogeneidad espacial del paisaje con los atributos y riqueza del territorio involucrada con la posición geográfica que enfatiza la relación directa con la distribución de la biodiversidad.

El análisis a partir de imágenes satelitales involucra un reto significativo en el reconocimiento de la biodiversidad natural vinculada a la heterogeneidad del paisaje, complejizando la definición e interpretación de patrones espaciales de paisaje y el reconocimiento de las directrices del ordenamiento territorial implícito.

Ha sido de gran interés haber establecido relaciones entre los patrones a partir de los índices y las métricas para detectar los procesos en el territorio que enfatizan y estiman la heterogeneidad espacial, como una condición y característica preferiblemente presente para garantizar la dinámica y sostenibilidad del paisaje. Por otro lado, el estudio y caracterización de la heterogeneidad espacial del paisaje también remarca la calidad de la disimilaridad

o aproximación entre las unidades geográficas, lo que permite identificar tendencias y visiones prospectivas.

La representación y el análisis artístico de las cartografías para evaluar las dinámicas urbanas y suburbanas, posibilita identificar problemáticas actuales del territorio que permite a los individuos tomar conciencia sobre la manera como se organiza y se estructura el paisaje. El uso de metodologías de análisis a partir de imágenes satelitales, contribuye al desarrollo de estrategias urbanas desde múltiples enfoques, algunas de ellas, para el desarrollo de una ciudad sostenible, así como el uso racional de los recursos naturales, el crecimiento planificado de la ciudad, el uso racional del suelo, la reducción de la población, el control de la calidad del aire, movilidad urbana alterna y otros, son acciones que ayudan a equilibrar las actividades humanas, balancear el desarrollo humano.

05

Notas y bibliografía

Albers, J. (1979). *La interacción del color*. España: Alianza. Recuperado de <https://biblioteca.fadu.uba.ar/catalogo/albers/pdf/albers.pdf>. ISBN: 978-950-29-1874-7

Aguilera, F. y Botequilha-Leitão, A. (2012). Selección de métricas de paisaje mediante análisis de componentes principales para la descripción de los cambios de uso y cobertura del suelo del Algarve, Portugal. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica - GeoFocus*, 12, 93-121

Armenteras, D., Gonzales, T. y Retana, J. (2013). Forest Fragmentation and Edge Influence on Fire Occurrence and Intensity under Different Management Types in Amazon Forests. *Biological Conservation*, 159, 73-79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.10.026>

Armenteras, D., Espeltab, J. M., Rodríguez, N. y Retana, J. (2017). Deforestation dynamics and drivers in different forest types in Latin America: Three decades of studies (1980-2010). *Global Environmental Change*, 46, 139-147.

Besse, J. M. (2021). Voir la Terre. Six essais sur le paysage et la géographie. Francia: Parentheses. ISBN-13: 978-2863644164

Bustamante, R. y Grez, A. (1995). Consecuencias ecológicas de la fragmentación de bosques nativos. *Ciencia y Ambiente*, 11(2),

58-63.

Burel, F. y Baudry, J. (2002). *Ecología del paisaje. Conceptos, métodos y aplicaciones*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/342001104_Ecologia_del_paisaje_conceptos_metodos_y_aplicaciones

Cordero, J. y Boshier, D. H. (2003). *Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas*. Turrialba, Costa Rica: Oxford Forestry Institute (OFI), Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Canzio, C. (2006). *Análisis de microestructura en hierro fundido nodular y evaluación de superficie de fractura en probetas de impacto Charpy mediante el uso del software Imagepro plus*. Lima: Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Chasco, C. (2003). *Economía espacial aplicada a la predicción-extrapolación de datos espaciales* (tesis doctoral). Madrid: Ed. Comunidad de Madrid. Recuperado de <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM005618.pdf>. ISBN: 84-451-2442-0

Díaz de Terán, J. R. (1988). Tipos y metodologías de cartografías geoambientales o neocientíficas. En Serrano Giné, David. Consideraciones en torno al concepto de unidad de paisaje y sistematización de propuestas. Estudios Geográficos. [en línea]. Vol. LXXIII, 272, pp. 215-237. Enero-junio 2012. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/276226670>. doi: 10.3989/estgeogr.201208

Forman, R.T.T. (1983). Una ecología del paisaje. *BioScience*, 33 (9). Recuperado de <https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/33/9/535/240448?redirectedFrom=fulltext>

Forman, R.T.T. (1995). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge, MA: Cambridge University Press. ISBN: 0521474620

García, D. (2011). Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas* 20 (3-2). Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/18>. ISSN: 1697-2473.

García R., A., Mendoza R., K. I., y Galicia S., L. (2005). Valoración del paisaje de la selva baja caducifolia en la cuenca baja del río Paqayo (Guerrero), México. *Investigaciones geográficas*, 56, 77-100.

Gobernación de Antioquia (2016). Bases del Plan de Desarrollo de Antioquia *Pensando en Grande 2016-2019*. Colombia: República de Colombia. Recuperado de <https://docplayer.es/22535980-Bases-del-plan-de-desarrollo-de-antioquia.html>

González T. J. J. (2012). Carl Troll y la geografía del paisaje: vida, obra y traducción de un texto fundamental. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 59. Recuperado de [Downloads/Dialnet-Carl-TrollYLaGeografiaDelPaisaje-3938181_1.pdf](https://www.researchgate.net/publication/276226670). ISSN: 0212-9426.

Guevara, S., Laborde, J., & Sánchez-Ríos, G. (2004). La fragmen-

tación. Los Tuxtlas: El paisaje de la sierra. Instituto de Ecología, A.C., pp. 111-134. ISBN 970-709-043-X

Gurrutxaga, M. y Lozano, P. (2008). Evidencias sobre la eficacia de los corredores ecológicos ¿Solucionan la problemática de fragmentación de hábitats? *Observatorio Medioambiental*, 1(1), 171-183.

Jiang, P., Cheng, L., Li, M., Zhao, R. y Huang, Q. (2014). Analysis of Landscape Fragmentation Processes and Driving Forces in Wetlands in Arid Areas: A Case Study of the Middle Reaches of the Heihe River, China. *Ecological Indicators*, 46, 240-252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.026>

Kayitakire, F., Hamel, C., et al. (2006). *Recuperación de variables de estructura forestal basadas en análisis de textura de imagen e imágenes IKONOS-2*, pp. 390-401. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/222403802_Retrieving_forest_structu-re_variables_based_on_image_texture_analysis_and_IKONOS-2_imagery

Martino, D. (2007). Deforestación en la Amazonía: principales factores de presión y perspectivas. *Revista del Sur*, 169, 3-22.

Matteucci, S. (2004). Los índices de configuración del mosaico como herramienta para el estudio de las relaciones patrón-proceso. En G. Buzai (Ed.), *Memorias: Primer Seminario Argentino de Geografía Cuantitativa* (pp. 1-29). Buenos Aires: Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente (Gepama).

Matteucci, S. D. y Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Washington D.C: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/44553298_Metodologia_para_el_estudio_de_la_vegetacion_por_Silvia_D_Matteucci_y_Aida_Colma.

Moran, P.A.P. (1948). The Interpretation of Statistical Maps. *Journal of the Royal Statistical Society B (Methodological)* 10 (2), 243-251. DOI: 10.1111/j.2517-6161.1948.tb00012.x.

Morlans, M.C. (2000). *Estructura del paisaje. sus funciones, fragmentación del hábitat y su efecto borde*. Argentina: Científica Universitaria, Universidad Nacional de Catamarca. Recuperado de <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione-ne%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/004-estructuradepaisaje.pdf>

Ormazábal, Y., Ávila, C., Mena, C., Morales, Y. y Bustos, Ó. (2013). Caracterización y cuantificación de fragmentos de bosque nativo, en un sector del secano interior de la región del Maule, Chile. *Ciencia Florestal*, 23 (3), 449-460. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509810556>

Rodríguez, W. y Nunes, A. (2016). Relationship between Openness to Trade and Deforestation: Empirical Evidence from the Brazilian Amazon. *Ecological Economics*, 121, 85-97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.11.014>

Rueda, S., Cuchí, A. de Cáceres, R., Brau, L. (2012). El Urbanismo Ecológico. Su aplicación en el diseño de un ecobarrio en Figueres. Barcelona, España: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona.

Recuperado de http://urbane.aq.upm.es/pdf/EL_Urbanismo_Ecologico.pdf

Tobler, W. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography* 46. DOI: 10.2307/143141

Torres-Gómez, M., Delgado, L., Martín, V. y Bustamante, O. (2009). Estructura del paisaje a lo largo de gradientes urbano-rurales en la cuenca del río Aisén (Región de Aisén, Chile). *Revista Chilena de Historia Natural*, 82, 73-82. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2009000100005>

Towers, P.C. (2002). Conceptos Iniciales sobre teledetección y su aplicación al agro. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/68699412/Conceptos-Iniciales-sobre-Teledeteccion-y-su-Aplicacion-al-Agro>

Troll, C. (2003). Ecología del paisaje. *Gaceta Ecológica*, 68, 71-84. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Distrito Federal. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906808.pdf>

Turner, M. G., Gardner, R. y O'Neill R. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice. Pattern and process*. New York: Springer Verlag. ISBN-13: 978-0387951225

Vieira, M. y Castillo, D. (2010). Designing and Implementing a Role-Playing Game: A Tool to Explain Factors, Decision Making and Landscape Transformation. *Environmental Modelling & Software*, 25, 1322-1333. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.015>

Zhou, T., Tulsiani, S., Sol, W., Malik, J. y Efros, A. (2017). View Synthesis by Appearance Flow. California: Universidad de California, Berkeley. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-46493-0_18