

Entregable 2 / Diagnóstico

DIMENSIÓN FUNCIONAL –

5.1 OCUPACIÓN ACTUAL

ÍNDICE

5.1 OCUPACIÓN ACTUAL	4
5.1.1 Introducción.....	4
5.1.2 Antecedentes	4
5.1.3 Materiales.....	5
5.1.4 Metodología	7
5.1.4.1 Recolección de la información	7
5.1.4.2 Fotointerpretación y digitalización huellas 1998, 2009, 2016 y 2021	7
5.1.4.3 Detección de cambios.....	8
5.1.5 Área de estudio	8
5.1.6 Objetivos	11
5.1.6.1 Objetivo general.....	12
5.1.6.2 Objetivos Específicos.....	12
5.1.6.3 Indicadores de cambios de usos del suelo	12
5.1.6.4 Determinación de las categorías	13
5.1.7 Tasa de cambio.....	14
5.1.8 Resultados	14
5.1.8.1 Matriz de cambios 1998-2009.....	16
5.1.8.2 Matriz de cambios 2009-2016.....	18
5.1.8.3 Matriz de cambios 2016-2021.....	21
5.1.9 Resumen de resultados	23
5.1.9.1 Tasa de cambio de las categorías	24
5.1.9.2 Vacíos urbanos al interior del perímetro urbano 028 de 2014.....	25
5.1.10 Conclusiones y recomendaciones.....	27
5.1.11 Referencias	27

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes de Información para el análisis de la huella urbana.....	5
Tabla 2. Matriz de cambios T1 a T2. Elaboración propia basada en Pontius 2004.....	12
Tabla 3. Categorías de cambio de coberturas.....	15
Tabla 4. Matriz de cambios tabulación cruzada 1998-2009. Valores en hectáreas.....	17
Tabla 5. Resumen 2009. Valores en hectáreas.....	17
Tabla 6. Matriz de cambios 2009-2016. Valores en hectáreas.....	19
Tabla 7. Resumen 2009-2016. Valores en hectáreas.....	19
Tabla 8. Matriz de cambios 2016-2021. Valores en hectáreas.....	21
Tabla 9. Cambios 2016 – 2021 en porcentajes	21
Tabla 10. Áreas y tasas de cambio.....	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imágenes utilizadas de izquierda a derecha 1998 y 2009 pancromáticas, 2016 y 2021 en RGB321 color verdadero.	7
---	---

Figura 2. Área de estudio cabecera municipal, imagen WorldView-2 de 2016 RGB321. Elaboración propia.	9
Figura 3. Área de estudio (cian) y perímetro urbano 028 de 2014 (amarillo).	10
Figura 4. Perímetros urbanos, suburbanos y áreas de expansión.	11
Figura 5. Huellas urbanas, en rosado huella 1998, en naranja huella 2009, en verde huella 2016 y en amarillo 2021.	16
Figura 6. Mapa de cambios 1998-2009.	18
Figura 7. Mapa de cambios 2009-2016.	20
Figura 8. Mapa de cambios 2016-2021.	22
Figura 9. Resumen evolución huella urbana. Valores en hectáreas.....	23
Figura 10. Mapa de cambios o transiciones 1998- 2009-2016.	24
Figura 11. Tasas de cambio metodología FAO 1995.	25
Figura 12. Vacíos urbanos al interior del perímetro 028 de 2014.	26

5.1 OCUPACIÓN ACTUAL

5.1.1 Introducción

En el marco del diagnóstico de POT moderno o de segunda generación que se encuentra actualmente en desarrollo en la descripción del “Contexto General del Territorio”, se desarrolló el análisis multitemporal de las huellas urbanas de la cabecera municipal.

Este trabajo tiene como objetivo el estudio de la dinámica del crecimiento urbano y su proceso de expansión. Se utilizan productos derivados de los sensores remotos y herramientas de análisis espacial como los Sistemas de Información Geográfica - SIG. Se delinearón las huellas urbanas para las fechas 1998, 2009, 2016 y 2021 a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales del municipio.

La expansión del uso del suelo urbano en la periferia de las ciudades constituye uno de los cambios paisajísticos más significativos que se han venido produciendo en nuestro país en las últimas décadas. Lograr medir esta dinámica es fundamental para desarrollar estrategias de planificación urbanas que permitan el crecimiento de la huella urbana de forma controlada y conforme con la realidad geográfica del territorio.

En este sentido, se desarrolló la metodología de tabulación cruzada desarrollada por Pontius 2004, para la detección y cuantificación de las áreas que con el tiempo sufrieron la transformación de suelo rural a suelo urbano, así como también se logró detectar los vacíos urbanos al interior de las huellas. El resultado es una matriz de cambios con las áreas de pérdida y ganancia de las categorías establecidas. También, se adapta la metodología Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO para calcular la tasa de cambio.

5.1.2 Antecedentes

A partir de los sensores remotos se han desarrollado estudios pertinentes para el análisis del espacio urbano y su dinámica espacial. El dinamismo del paisaje urbano agudiza la necesidad de disponer de información cuantitativa y georreferenciada actualizada para poder enfrentarse a la ordenación del territorio fundamentada en criterios sólidos. Las imágenes de satélite de resolución media podrían suponer una fuente de información que permitiría una actualización de los espacios urbanizados de forma rápida, eficiente y asumible económicamente. El análisis urbano a partir de sensores remotos permite reconocer la localización y extensión de las áreas urbanas; de la misma manera permite aproximarse a la distribución espacial de diferentes aspectos, como la infraestructura vial, el crecimiento urbano y los asentamientos humanos (Humacata, 2018).

La aplicación de la teledetección ha sido utilizada en estudios de crecimiento urbano, y ha sido pieza importante para analizar los cambios en el uso del suelo y su expansión. Los sensores remotos aplicados a estudios urbanos nos permiten realizar análisis del

crecimiento urbano, reconstruyendo cartografía para diferentes temporalidades; un ejemplo de esto es el estudio realizado para la ciudad de Bogotá, donde se utilizaron imágenes de los sensores satelitales LANDSAT TM y VHR, con el fin de estudiar el crecimiento urbano experimentado durante el periodo comprendido entre 1997 y 2016 en la ciudad con el “Análisis histórico y evolución de la huella urbana, estudio de crecimiento y evolución de la huella urbana para los municipios que conforman el área Bogotá Región (Secretaría Distrital de Planeación, La Secretaría Distrital de Planeación de Cundinamarca, FINDETER e IDOM, 2018).

Para trabajos urbanos de evolución de la huella urbana con la metodología de tabulación cruzada desarrollada por Pontius 2004, se encuentran trabajos como el de Humacata en 2018 con “Análisis espacial de los cambios de usos del suelo con Sistemas de Información Geográfica” en la Región Metropolitana de Buenos Aires, que procedió a la evaluación de los cambios a partir de insumos estadísticos y cartográficos, la cual brindó una amplia posibilidad de realizar un análisis detallado de los cambios reales en la ocupación del suelo, especificando las superficies de ganancias, pérdidas, cambio neto y total, e intercambios. También en Argentina, Pombo en 2018, presenta su tesis doctoral “Expansión urbana acelerada en una ciudad intermedia: causas y consecuencias Santa Rosa - La Pampa”, donde logra detectar la evolución de la huella urbana con esta metodología.

En México, López en 2014, analiza el cambio de uso del suelo con esta metodología para un periodo comprendido entre 2000 y 2010 un área mazahua del altiplano mexicano. Igualmente, Barraza en 2017 aplica la tabulación cruzada para para la simulación geoespacial de usos de suelo en Novolato y Culiacán, Sinaloa entre 1993 y 2011.

En Colombia, Sánchez en 2018, elaboró el proyecto de grado para la especialización en Geomática de cambios de cobertura en el área urbana, área de expansión y corredores metropolitanos de la zona sur y norte de Santiago de Cali - años 1984, 2000 y 2015, a partir de imágenes Landsat a escala 1:100.000.

Cabe resaltar que la mayoría de los trabajos encontrados fueron hechos con imágenes Landsat cuya resolución espacial es de 30 metros, lo que se traduce en productos a una escala regional mayor o igual a 1:100.000.

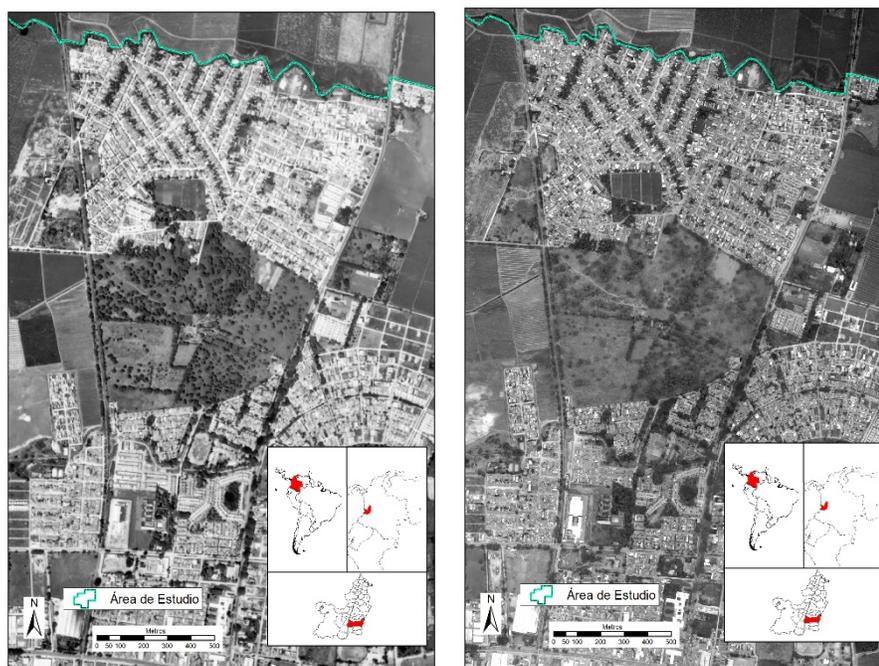
5.1.3 Materiales

Para este estudio se contó con información derivada de sensores remotos como las imágenes Landsat y sus productos derivados como índices de vegetación, del suelo y humedad, fotografías aéreas ortorectificadas, imágenes satelitales WorldView-2 y los servicios de imágenes de esri publicados en la web. La tabla 1, muestra el listado de las imágenes utilizadas, su fuente, año y resolución espacial en metros.

Tabla 1. Fuentes de Información para el análisis de la huella urbana

INFORMACIÓN	FUENTE	RESOLUCIÓN (m)
Imágenes del programa Landsat	USGS de Los EE.UU a través de Earth explorer	30 y 15
Índices espectrales NDVI, NWDVI y SAVI	USGS de Los EE.UU a través de Google earth engine (gee)	30
Imagen servicio esri 2012	SAS Planet V200606.10075 de 2013	1
Imágenes Sentinel 2A y 2B	Portal Copernicus ESA a través de gee	10
Fotografías aéreas FAL 2009	IGAC -Secretaria de Planeación	0.15
Imagen Worlview-2 de 2016	IGAC -Secretaria de Planeación	0.5
Fotografías aéreas ortorectificadas FAL-CVC 1998-1999	Portal de datos abiertos CVC 2020	0.9
Ortofotomosaico CVC 2021	Dirección Técnica Ambiental 2021	0.1

En la figura a continuación, se presenta las imágenes utilizadas en este trabajo, se puede observar la buena calidad de las imágenes para las cuatro fechas



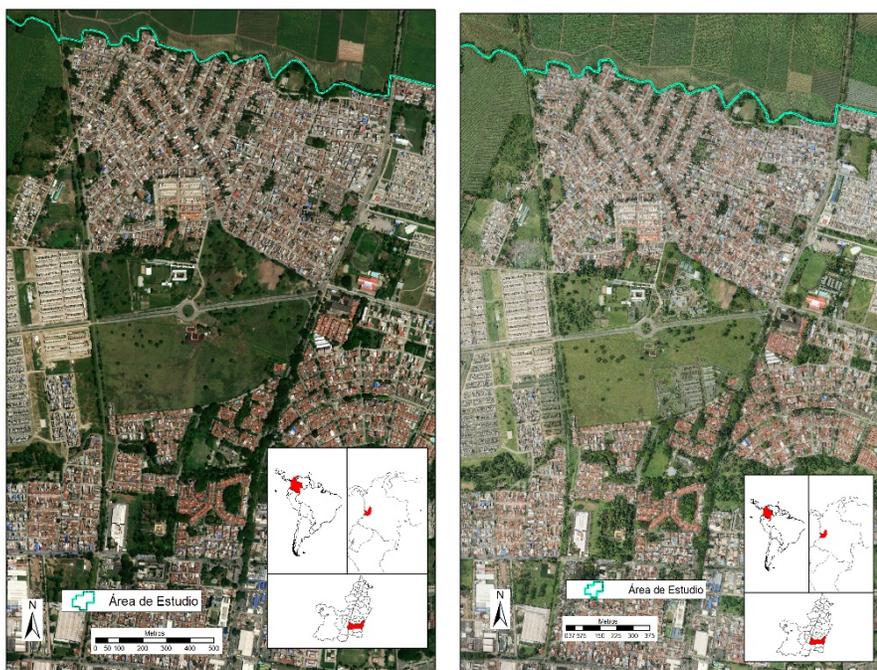


Figura 1. Imágenes utilizadas de izquierda a derecha 1998 y 2009 pancromáticas, 2016 y 2021 en RGB321 color verdadero.

5.1.4 Metodología

Para este trabajo, se utilizó una metodología que permitió obtener las huellas urbanas para las tres fechas establecidas con una resolución de detalle escala 1:5.000.

5.1.4.1 Recolección de la información

En esta parte, se recolectó la información para el estudio. Inicialmente, se recolectaron imágenes satelitales Landsat 5, 7 y 8 al igual que Sentinel 2A y 2B, pero estas por su resolución espacial de 30 y 10 metros respectivamente no cumplían con las especificaciones iniciales de escala que fue 1:5.000, por lo que se utilizaron de referencia y una animación GIF, igualmente con sus productos derivados. Finalmente, se encontraron fotografías aéreas ortorectificadas para 1998-1999, ortofotomosaico de 2009, la imagen WorldView-2 de 2016 y la ortofotomosaico CVC 2021.

5.1.4.2 Fotointerpretación y digitalización huellas 1998, 2009, 2016 y 2021

Se realizó la fotointerpretación de las tres huellas teniendo en cuenta algunos criterios técnicos urbanísticos sugeridos por el equipo POT donde se incluyen sitios estratégicos que están consolidados dentro de la cabecera municipal como por ejemplo La Universidad Nacional, El Seminario, el vivero Marinela y el predio donde actualmente funciona la planta de Leche Alquería.

5.1.4.3 *Detección de cambios*

La aplicación se basa en la metodología de detección de cambios desarrollada por Pontius et al. (2004). Los procedimientos parten de la tabulación cruzada de dos mapas, lo que genera la denominada matriz de cambios. La matriz se organiza en filas y columnas (Tabla 2). En las primeras se encuentran representadas las categorías del mapa del corte temporal 1 (T1), y en las columnas están las categorías del segundo corte temporal (T2). En la diagonal de la matriz (señalado en color gris) se encuentran representadas las superficies que han permanecido estables entre los dos cortes temporales, mientras que fuera de la matriz se encuentran las superficies de cada categoría que presentan transiciones a otras categorías desde tiempo 1 al tiempo 2. Las columnas Total T1 y Total T2 recogen la suma de cada categoría para cada año respectivamente. A ello se suma la columna referida a las pérdidas de superficie de cada categoría entre los dos cortes temporales, y la fila de las ganancias que cada categoría obtuvo en el periodo analizado.

5.1.5 Área de estudio

El área de estudio comprende la zona urbana que corresponde a la cabecera municipal, con coordenadas Longitud 76.338415 W y Latitud 3.571041 N esquina superior izquierda y coordenadas Longitud 76.254231 W y Latitud 3.497521 N esquina inferior derecha (Ver Figura 2)

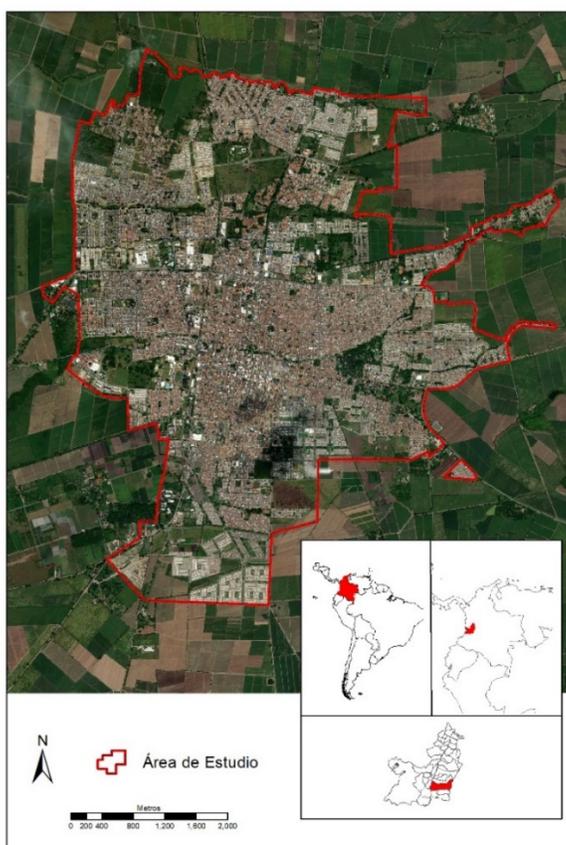


Figura 2. Área de estudio cabecera municipal, imagen WorldView-2 de 2016 RGB321. Elaboración propia.

El área de estudio fue determinada con el perímetro urbano 028 de 2014, sus áreas de expansión, el suelo suburbano y se incluyeron algunas áreas adyacentes a las áreas de expansión, como es el caso del área que se encuentra entre el área suburbana (Coronado) y Zamorano al norte de la ciudad. El área total para el estudio es de 2437.9 ha.

El área de estudio se contextualizó con la realidad geográfica de la cabecera municipal para el año 2021. debido a que la capa actual del perímetro urbano 028 de 2014 presenta inconsistencias en su trazado, seguramente producidos por la escala con la que se trazó en su momento, muy seguramente fue más pequeña que la escala que permite llegar la imagen 2021, esto se puede observar en las imágenes de la Figura 3.



Figura 3. Área de estudio (cian) y perímetro urbano 028 de 2014 (amarillo).

En la figura 3A, se aprecia como el zanjón Zamorano no coincide con el perímetro urbano en amarillo. En algunas ocasiones la capa del perímetro está al interior de la huella urbana como se ve en la figura 3B sector sur de la cabecera municipal. El caso contrario donde el perímetro actual excedía la huella urbana, se respetó este trazado. Para la capa de áreas de expansión se realizó el mismo procedimiento. También se incluyeron áreas que, aunque no estén contempladas como áreas de expansión o al interior del perímetro urbano por su adyacencia y contexto se pueden proyectar en el futuro como tal, como es el caso del sector del vivero Marinela la planta Alquilería figura 3C y el área comprendida entre el área de expansión del sector Coronado y el barrio Zamorano al norte de la ciudad.

Debido a esta situación, se generó una nueva versión del perímetro urbano 028 de 2014 a partir de la ortofoto CVC 2021 como lo muestra la Figura 4. Esta información se ajustó con el área de estudio y servirá para hacer el análisis espacial del suelo disponible 2021.



Figura 4. Perímetros urbanos, suburbanos y áreas de expansión.

5.1.6 Objetivos

5.1.6.1 Objetivo general

Obtener las huellas urbanas de la cabecera municipal a escala de detalle 1:5.000 a partir de productos derivados de sensores remotos, identificar sus cambios en el tiempo y cuantificar las áreas estables de ganancia y perdida con herramientas SIG.

5.1.6.2 Objetivos Específicos

- Recolectar la información para el análisis; fotografías aéreas, ortofotomosaicos, imágenes de satélite.
- Digitalizar por fotointerpretación y realizar un análisis detallado de los cambios en la huella urbana, entre 1998, 2009 y 2016.
- Cuantificar y detectar los cambios de la huella urbana y determinar la superficie del crecimiento a partir de una tabulación cruzada y matriz de cambios.
- Obtener los vacíos urbanos para 2016.

Tabla 2. Matriz de cambios T1 a T2. Elaboración propia basada en Pontius 2004.

Categorías	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría n	Total T1	Perdidas
Categoría 1	P11	P12	P13	P1n	P1+	P1+ - P11
Categoría 2	P21	P22	P23	P2n	P2+	P1+ - P22
Categoría 3	P31	P32	P33	P3n	P3+	P1+ - P33
Categoría n	Pn1	Pn2	Pn3	Pnn	Pn+	P1+ - P14
Total T2	P+1	P+2	P+3	P+n	1	Pn+ - Pnn
Ganancias	P+1 - P11	P+1 - P22	P+1 - P33	P+1 - Pnn		

Tabla 2.

5.1.6.3 Indicadores de cambios de usos del suelo

A partir de la matriz de tabulación cruzada se calculan una serie de indicadores que permiten medir las ganancias, las pérdidas, el cambio neto y total, y los intercambios entre las distintas categorías de usos del suelo definidas para el periodo de estudio. A continuación, se presentan las definiciones de estos parámetros:

Ganancias: se obtienen a partir de la diferencia de la suma total del tiempo 2 (T2) y el valor de la diagonal correspondiente a cada categoría.

Pérdidas: se obtienen a partir de la diferencia de la suma total del tiempo 1 (T1) y el

valor de la diagonal correspondiente a cada categoría.

Cambio neto: este valor se obtiene a partir de la diferencia de las pérdidas y las ganancias de cada categoría.

Estables: este valor se obtiene al sumar los valores de la diagonal de la matriz para cada fecha evaluada.

Pontius et al. (2004)

5.1.6.4 Determinación de las categorías

Para este trabajo se establecieron cinco (5) categorías:

Huella Urbana Continua. Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren más de 80% de la superficie del terreno. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido urbano. La superficie de la unidad debe ser superior a cinco hectáreas.

Huella urbana discontinua. Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación. Esta unidad puede presentar dificultad para su delimitación cuando otras coberturas de tipo natural y seminatural se mezclan con áreas clasificadas como zonas urbanas.

Áreas Cultivadas. Comprende las áreas ocupadas con cultivos sin importar su ciclo vegetativo, pueden ser transitorios como como por ejemplo los cereales (maíz, trigo, cebada y arroz), los tubérculos (papa y yuca), las oleaginosas (el ajonjolí y el algodón), la mayor parte de las hortalizas y algunas especies de flores a cielo abierto. También incluye los cultivos permanentes, se incluyen en esta categoría los cultivos de herbáceas como caña de azúcar, caña panelera, plátano y banano; los cultivos arbustivos como café y cacao; y los cultivos arbóreos como palma africana y árboles frutales.

Misceláneo de Herbazal Arbolado y/o Enmalezado. Para esta categoría se combinaron dos categorías de la clasificación Corine Land Cover adaptado para Colombia por el IDEAM:

Pastos arbolados Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles debe ser mayor a 30% y menor a 50% del área total de la unidad de pastos.

Pastos enmalezados. Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, debido principalmente a la

realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono. En general, la altura de la vegetación secundaria es menor a 1,5 m.

(IDEAM, 2010)

Áreas en Desarrollo. Son áreas que tienen una huella de desarrollo, como la presencia de lotes y vías proyectadas o alguna adecuación como un terraplén. Se definieron porque se ve la importancia de realizar seguimiento a estos desarrollos y entender su lenta dinámica.

5.1.7 Tasa de cambio

Para el cálculo de la tasa de cambio de las categorías establecidas se utilizó la fórmula de La (FAO) para el año 1996:

$$T = \left(\frac{A2}{A1}\right)^{1/n} - 1 \quad (1)$$

Donde:

T = Tasa de pérdida anual de cobertura

A1 = es la superficie en el tiempo inicial

A2 = es la superficie en el tiempo siguiente

n = es el intervalo de tiempo entre las dos fechas de medición.

5.1.8 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos. Se logra detectar y cuantificar las huellas urbanas para las cuatro fechas establecidas Figura 5, y se delimitan igualmente los vacíos urbanos al interior de las huellas y de perímetro urbano 028 de 2014.

El trabajo fue realizado en formato ráster con una resolución espacial de 1 metro, los resultados finales se exportaron a formato vectorial en una GDB y se validaron errores topológicos producidos por el cambio de formato. Se presentan las matrices de cambio entre las fechas establecidas y se realizó un resumen de las áreas obtenidas con su respectivo mapa.

Para las categorías “Huella Urbana Continua” HUC y “Huella Urbana Discontinua” HUD se tratará como ganancia de área y para las demás categorías se tratarán como pérdidas. Se identifican las áreas que experimentaron transiciones a otros usos del suelo. De las veinticinco combinaciones posibles, surgen trece categorías de cambios, como lo muestra la Tabla 3, donde también podemos ver las categorías que permanecen estables y las que determinan el aumento de la huella urbana tanto continua como discontinua.

Tabla 3. Categorías de cambio de coberturas.

No.	Categoría	Descripción
1	1 1	Estable HUC
2	2 2	Estable HUD
3	3 3	Estable Cultivos
4	4 4	Estable Misceláneo
5	5 5	Estable Desarrollo
6	2 1	Ganancia HUC
7	3 1	Ganancia de Cultivo a HUC
8	3 2	Ganancia de Cultivo a HUD
9	3 4	Perdida de Cultivo a Misceláneo
10	3 5	Perdida de Cultivo a Desarrollo
11	4 1	Ganancia de Misceláneo a HUC
12	4 2	Ganancia de Misceláneo a HUD
13	4 3	Perdida de Misceláneo a Cultivo
14	4 5	Perdida de Misceláneo a Desarrollo
15	5 1	Ganancia de Desarrollo a HUC
16	5 2	Ganancia de Desarrollo a HUD
17	5 3	Perdida de Desarrollo a Cultivo
18	5 4	Perdida de Desarrollo a Misceláneo

Para cada periodo establecido se generó una matriz de cambios y una tabla que resume las áreas en hectáreas y su cambio en porcentajes, también resume los valores que permanecieron estables, las ganancias, pérdidas y el cambio neto.

En base a los valores aportados por los indicadores de cambios, se procede a la representación espacial de las áreas que presentan superficies de ganancias y pérdidas, señalando las principales transiciones e intercambios entre categorías.

A partir de las áreas de cambio, es posible identificar las principales transiciones entre categorías. Se hace hincapié en señalar aquellas áreas de transición en el sentido de las ganancias obtenidas por la HUC. Se procede a partir de un segundo procedimiento de reclasificación de las categorías que aportan superficie, es decir que presentan cambios negativos, indicando una disminución de superficie ocupada. A partir de estos mapas de tratamiento se procede a la superposición cartográfica dando como resultado el mapa síntesis referido a las transiciones entre usos del suelo.

Se determinó una paleta de colores para representar las transiciones entre categorías, que también se muestra en la Tabla 3.

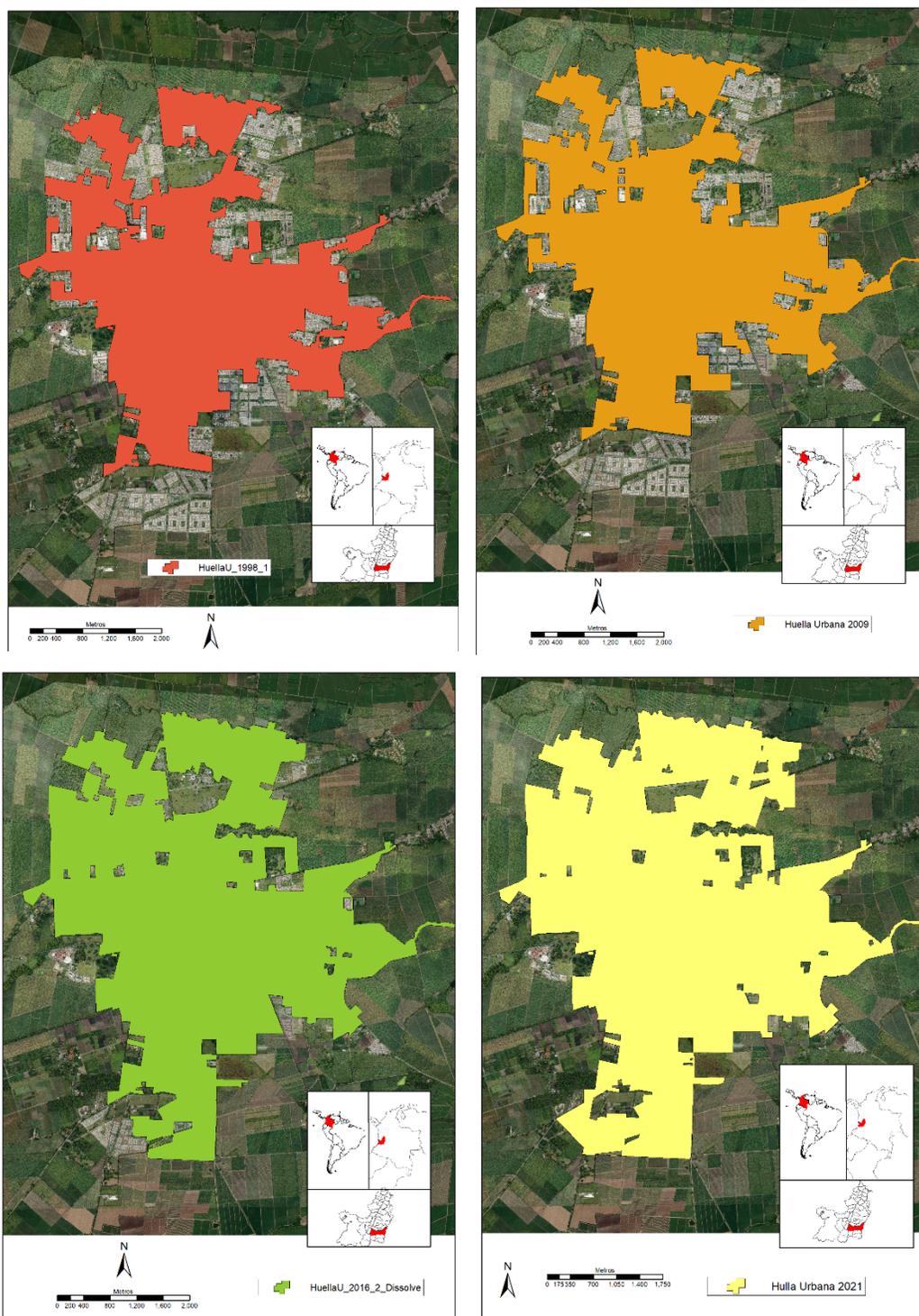


Figura 5. Huellas urbanas, en rosado huella 1998, en naranja huella 2009, en verde huella 2016 y en amarillo 2021.

5.1.8.1 Matriz de cambios 1998-2009

Los cambios ocurridos en las categorías establecidas entre el año 1998 y 2009 se pueden observar en la matriz de la Tabla 4. Las áreas se encuentran en hectáreas.

Tabla 4. Matriz de cambios tabulación cruzada 1998-2009. Valores en hectáreas.

Estables 1810.02	2009						Total 1998	Perdidas
	Huella Urbana Continua	Huella Urbana Dispersa	Cultivos	Misceláneo	Desarrollo			
Huella Urbana Continua	1372.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1372.9	0.0
Huella Urbana Discontinua	0.0	35.9	0.0	0.0	0.0	0.0	35.9	0.0
1998 Cultivos	27.1	9.9	401.2	95.6	7.4	541.2	140.0	
Misceláneo	37.7	4.0	25.2	364.9	1.3	433.2	68.3	
Desarrollo	28.0	2.0	0.0	6.3	18.4	54.7	36.3	
Total 2009	1465.7	51.7	426.4	466.8	27.2	2437.9	0.0	
Ganancias	92.8	15.8	25.2	101.9	8.8	0.0		

En esta tabla se puede ver el área de estudio total, el área de las huellas para ambos años 1998 y 2009, el valor del área que permanece estable, las pérdidas y las ganancias. También nos muestra el área que perdieron las demás categorías respecto a la huella urbana continua y dispersa. La Tabla 5, resume los valores obtenidos en porcentajes:

Tabla 5. Resumen 2009. Valores en hectáreas.

Uso del suelo	Área 1998	%	Área 2009	%	Estable	Ganancia	Perdida	Cambio neto
Huella Urbana Continua	1372.9	56.3	1465.7	60.1	1372.9	92.8	0.0	92.8
Huella Urbana Discontinua	35.9	1.5	51.7	2.1	35.9	15.8	0.0	15.8
Cultivos	541.2	22.2	426.4	17.5	401.2	25.2	140.0	-114.8
Misceláneo	433.2	17.8	466.8	19.1	364.9	101.9	68.3	33.6
Desarrollo	54.7	2.2	27.2	1.1	18.4	8.8	36.3	-27.5
Total	2437.9	100.0	2437.9	100.0	2193.4	244.6	244.6	0.0

La Figura 6, muestra el resultado obtenido donde se pueden ver las transiciones entre las categorías. Se puede notar como la huella urbana continúa ganando espacio frente a las áreas cultivadas y las áreas misceláneas, igualmente, la huella urbana dispersa, aumentando su área en el barrio Poblado Confaunion y aparece una nueva huella urbana dispersa que corresponde al centro comercial Llanogrande y al norte en sector de Alameda.

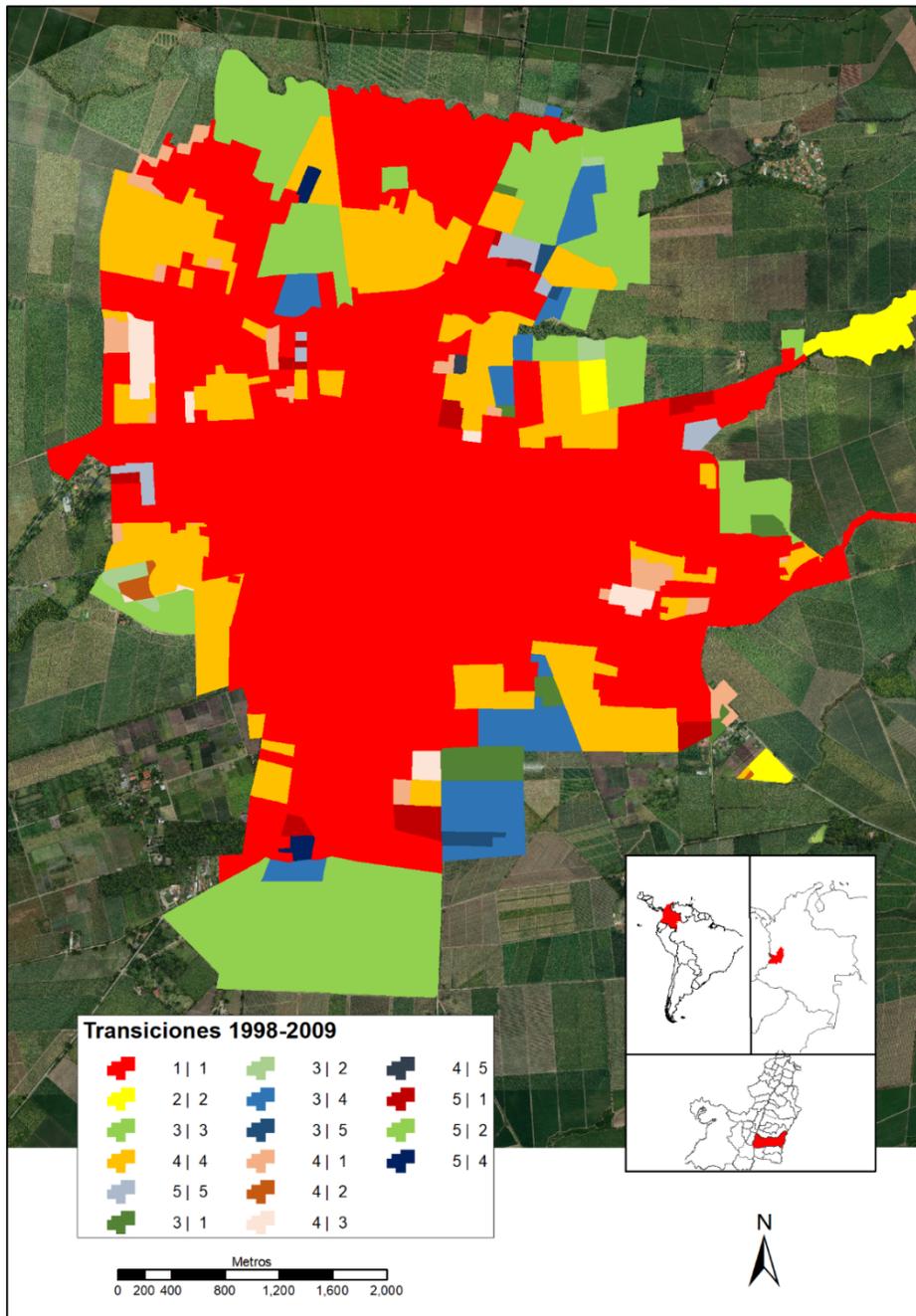


Figura 6. Mapa de cambios 1998-2009.

5.1.8.2 Matriz de cambios 2009-2016

Para este periodo de análisis se puede observar en la Tabla 6, como la huella urbana gana área frente a las demás categorías establecidas. Se observa también, como hay una transición entre la Huella Urbana Discontinua a Huella Urbana Continua, quedando

el sector de Poblado Confaunion y el sector Alameda al norte, integrado a la Huella Urbana Continua.

Tabla 6. Matriz de cambios 2009-2016. Valores en hectáreas

Estables 1941.80	Huella Urbana Continua	Huella Urbana Discontinua	2016				Total 2016	Perdidas
			Cultivos	Misceláneo	Desarrollo			
Huella Urbana Continua	1465.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1465.7	0.0	
Huella Urbana Discontinua	14.3	37.4	0.0	0.0	0.0	51.7	14.3	
2009 Cultivos	180.2	12.1	165.4	64.6	4.3	426.4	261.1	
Misceláneo	183.4	0.0	0.8	273.3	9.4	466.8	193.5	
Desarrollo	27.2	0.0	0.0	0.0	0.0	27.2	27.2	
Total 2009	1870.8	49.5	166.2	337.9	13.7	2437.9	0.0	
Ganancias	405.0	12.1	0.8	64.6	13.7	0.0		

Se puede ver en el mapa de la Figura 7, como al sur, aparece una huella dispersa con forma de triángulo ganando área frente a los Cultivos, y como a la HUD del Centro Comercial Llanogrande gana área. La Tabla 7 resume las áreas obtenidas y los porcentajes frente al área total.

Tabla 7. Resumen 2009-2016. Valores en hectáreas.

Uso del suelo	Área 2009	%	Área 2016	%	Estable	Ganancia	Perdida	Cambio neto
Huella Urbana Continua	1465.7	60.1	1870.8	76.7	1465.7	405.0	0.0	405.0
Huella Urbana Discontinua	51.7	2.1	49.5	2.0	37.4	12.1	14.3	-2.2
Cultivos	426.4	17.5	166.2	6.8	273.3	0.8	261.1	-260.3
Misceláneo	466.8	19.1	337.9	13.9	0.0	64.6	193.5	-129.0
Desarrollo	27.2	1.1	13.7	0.6	37.4	13.7	27.2	-13.6
Total	2437.9	100.0	2437.9	100.0	1813.8	496.1	496.1	0.0

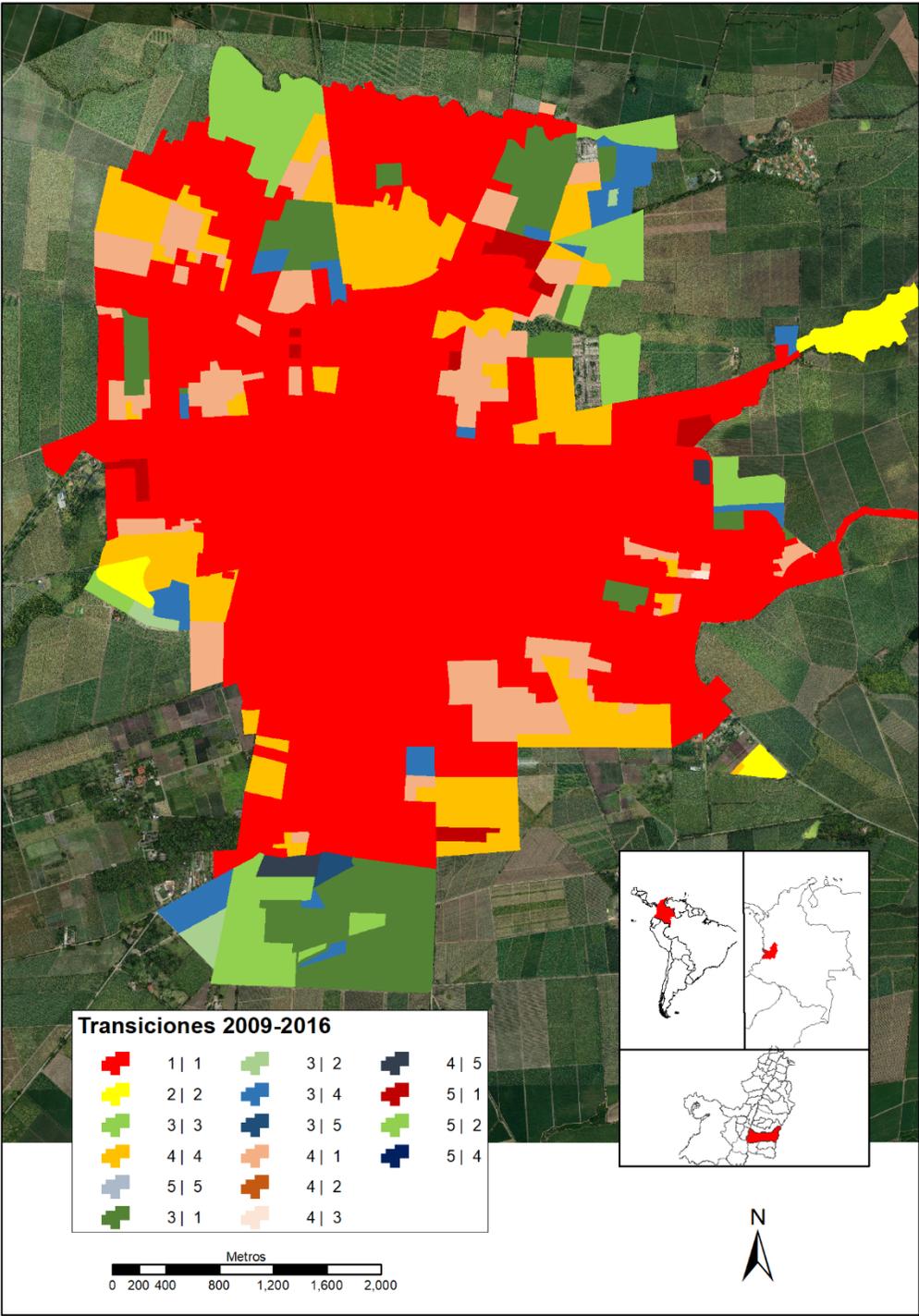


Figura 7. Mapa de cambios 2009-2016.

5.1.8.3 Matriz de cambios 2016-2021

Para este periodo se observa como la HUC aumenta a 157 ha y la HUD aumenta en 2.2 ha, las áreas en “Desarrollo” disminuyeron respecto al periodo 2009-2016 lo que indica que estas zonas activaron el desarrollo. Para la zona sur, se nota como las áreas cultivadas pasaron a HUC con el Macroproyecto La Italia que fue un desarrollo del gobierno nacional. Para la zona norte, la HUC aumento su área en sector Alameda, también se ve la conexión de la carrera 19 con el sector Las Mercedes lo cual produjo un cambio en la dinámica de la ciudad debido a que esta apertura descongestionó la carrera 28 que es una vía principal y salida hacia El Cerrito.

Tabla 8. Matriz de cambios 2016-2021. Valores en hectáreas

Estables	2253.37	2021						Perdidas
		Huella Urbana Continua	Huella Urbana Discontinua	Cultivos	Misceláneo	Desarrollo	Total 2021	
2016	Huella Urbana Continua	1877.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1877.2	0.0
	Huella Urbana Discontinua	8.3	41.2	0.0	0.0	0.0	49.5	8.3
	Cultivos	47.7	2.2	107.9	8.3	0.0	166.2	58.3
	Misceláneo	98.1	0.0	8.5	216.7	8.1	331.4	114.8
	Desarrollo	3.2	0.0	0.0	0.0	10.4	13.7	3.2
	Total 2016	2034.6	43.5	116.4	225.0	18.5	2437.9	0.0
Ganancias	157.4	2.2	8.5	8.3	8.1	0.0		

También se evidencia en la zona de La Carbonera como se han desarrollado con la Universidad del Valle y el centro deportivo. Para el sur hay un desarrollo que quedó incompleto con unas construcciones en obra negra frente a la Universidad Nacional que representa un área importante.

Tabla 9. Cambios 2016 – 2021 en porcentajes

Uso del suelo	Área 2016	%	Área 2021	%	Estable	Ganancia	Perdida	Cambio neto
Huella Urbana Continua	1870.8	76.7	2034.6	83.5	1877.2	157.4	0	157.4
Huella Urbana Discontinua	49.5	2.0	43.5	1.8	41.2	2.2	8.3	-6.0
Cultivos	166.2	6.8	116.4	4.8	107.9	8.5	58.3	-49.8
Misceláneo	337.9	13.9	225.0	9.2	216.7	8.3	114.8	-106.5
Desarrollo	13.7	0.6	18.5	0.8	10.4	8.1	3.2	4.9
Total	2437.9	100.0	2437.9	100.0	2253.4	184.6	184.6	0.0

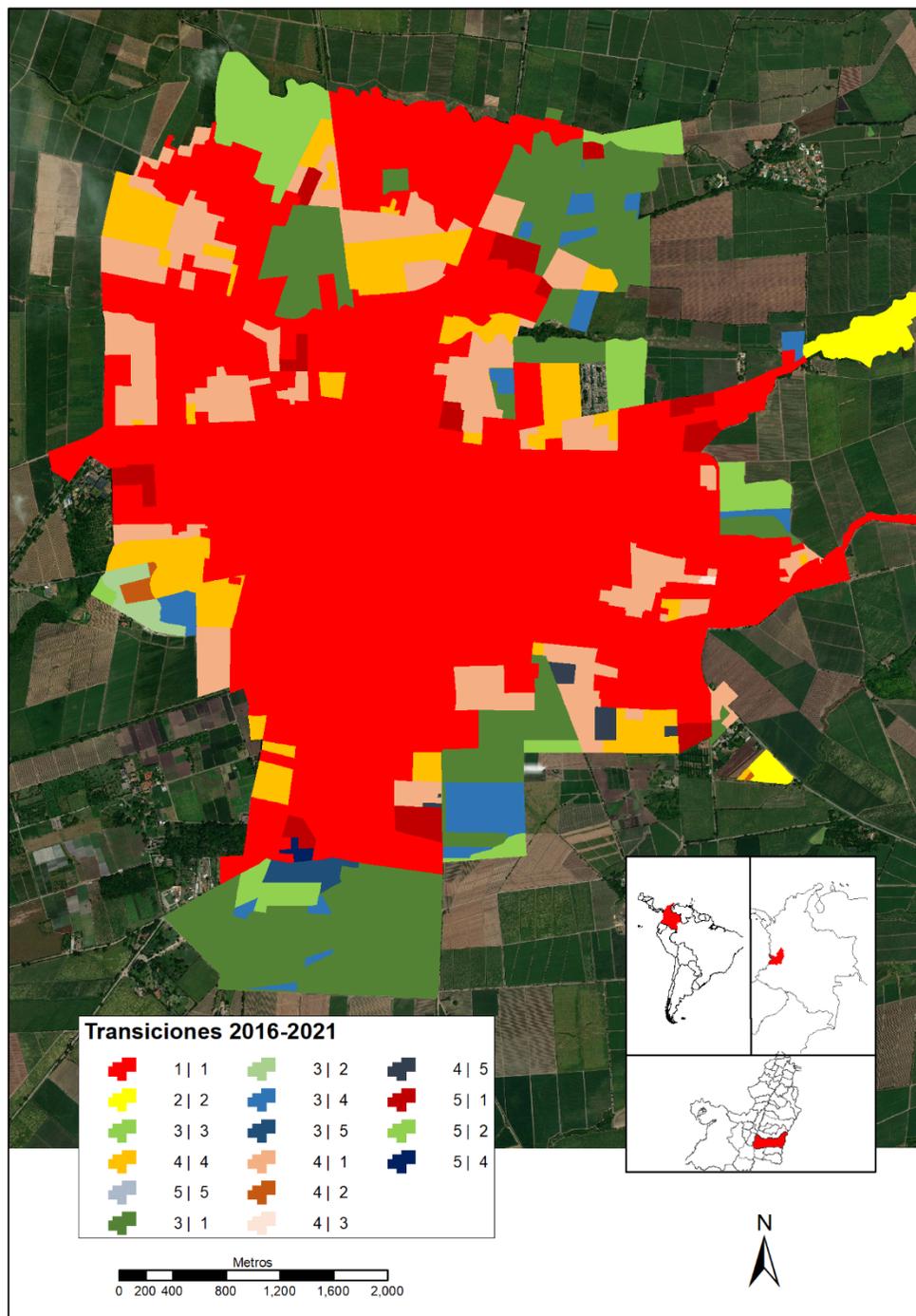


Figura 8. Mapa de cambios 2016-2021.

5.1.9 Resumen de resultados

Esta grafica muestra como la HUC ha aumentado su área en el tiempo. Se nota que HUD se ha mantenido constante. Se observa como las áreas cultivadas van disminuyendo, transformándose en áreas Miscelánea, lo que representa la dinámica de transición entre estas coberturas.

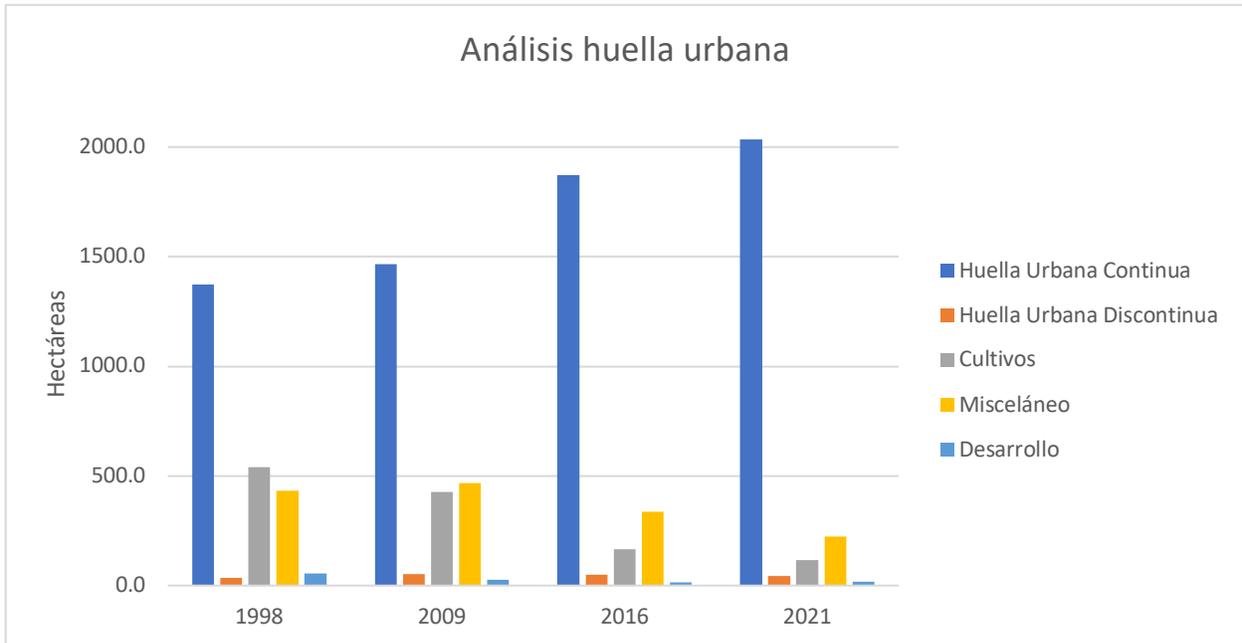


Figura 9. Resumen evolución huella urbana. Valores en hectáreas

Esto explica como primero las áreas cultivadas primero hacen la transición a zonas misceláneas y luego se desarrollan. También se observa como las áreas en Desarrollo van disminuyendo en el tiempo.

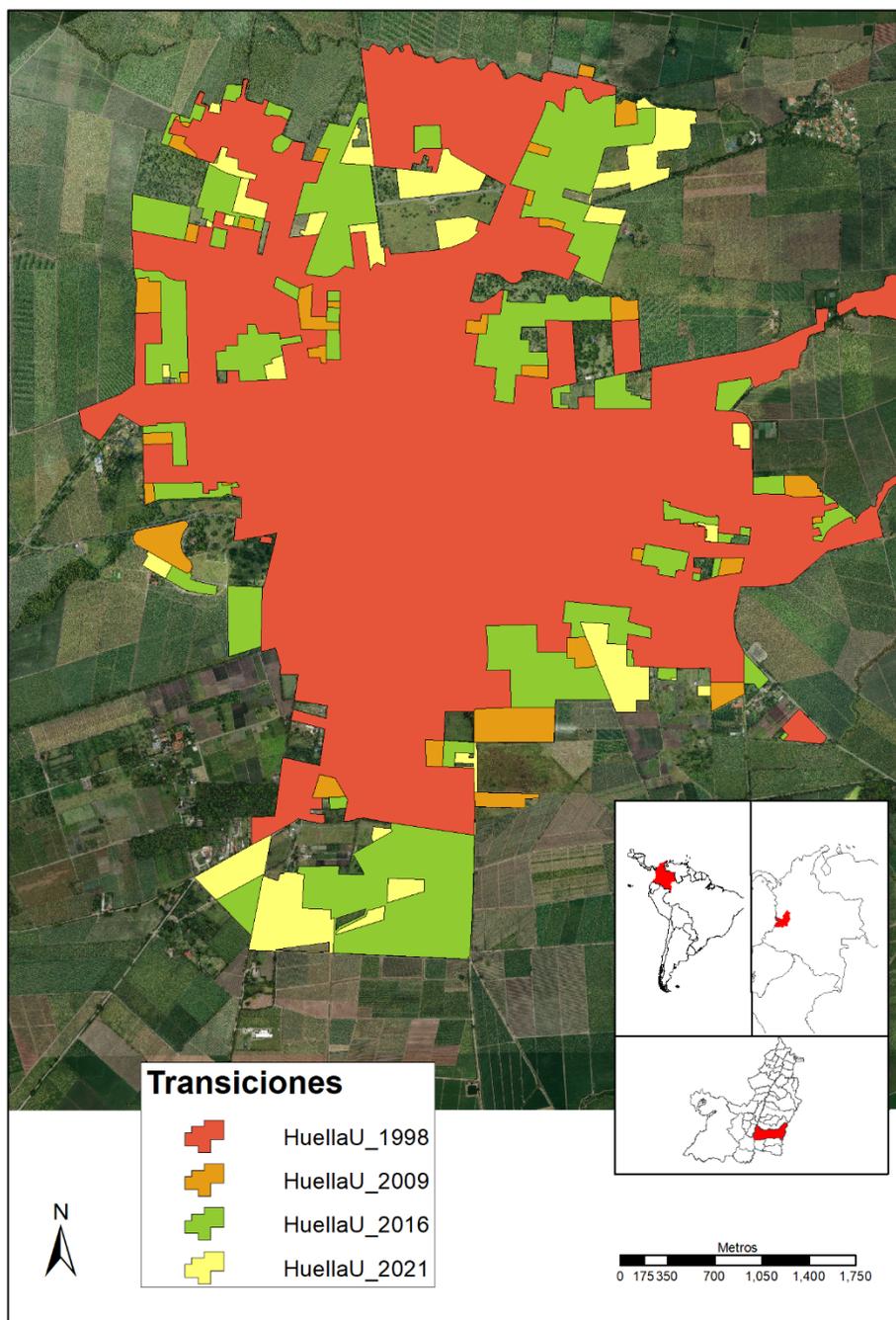


Figura 10. Mapa de cambios o transiciones 1998- 2009-2016.

5.1.9.1 Tasa de cambio de las categorías

Las tasas de cambio para las categorías se calcularon para las transiciones 1998-2009, 2009-2016, 2016-2021 y 1998-2021, los resultados se resumen en la Tabla 10.

Tabla 10. Áreas y tasas de cambio.

Categorías		1998	Tasa 1%	2009	Tasa 2%	2016	Tasa 3%	2021	Tasa 4%
Huella Urbana Continua	Urbana	1372.9	0.6%	1465.7	3.5%	1870.8	1.7%	2034.6	1.7%
Huella Urbana Discontinua	Urbana	35.9	3.4%	51.7	-0.9%	49.5	-2.6%	43.5	0.8%
Cultivos		541.2	-2.1%	426.4	-12.6%	166.2	-6.9%	116.4	-6.5%
Misceláneo		433.2	0.7%	466.8	-4.5%	337.9	-7.8%	225.0	-2.8%
Desarrollo		54.7	-6.1%	27.2	-9.4%	13.7	6.3%	18.5	-4.6%

Se puede observar que las categorías tienen su mayor cambio entre 2009-2016. También se puede notar que las tasas de cambio de las huellas continuas y dispersas son similares entre 1998-2016.

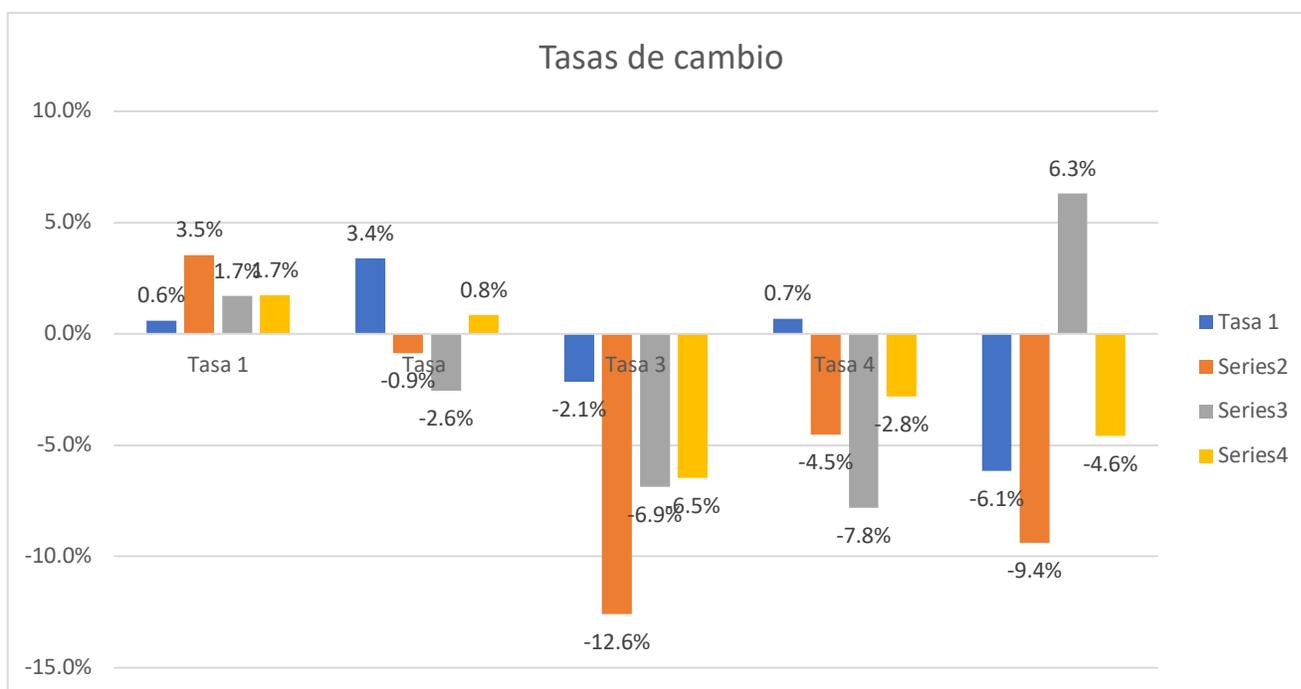


Figura 11. Tasas de cambio metodología FAO 1995.

5.1.9.2 Vacíos urbanos al interior del perímetro urbano 028 de 2014

Por último, este ejercicio logró identificar los vacíos urbanos al interior del perímetro urbano o predios urbanizables no urbanizados con un área aproximada para el 2021 de 181.3 hectáreas. Esta capa se debe validar para quedar consolidada para esta fecha. (Ver Figura 12)

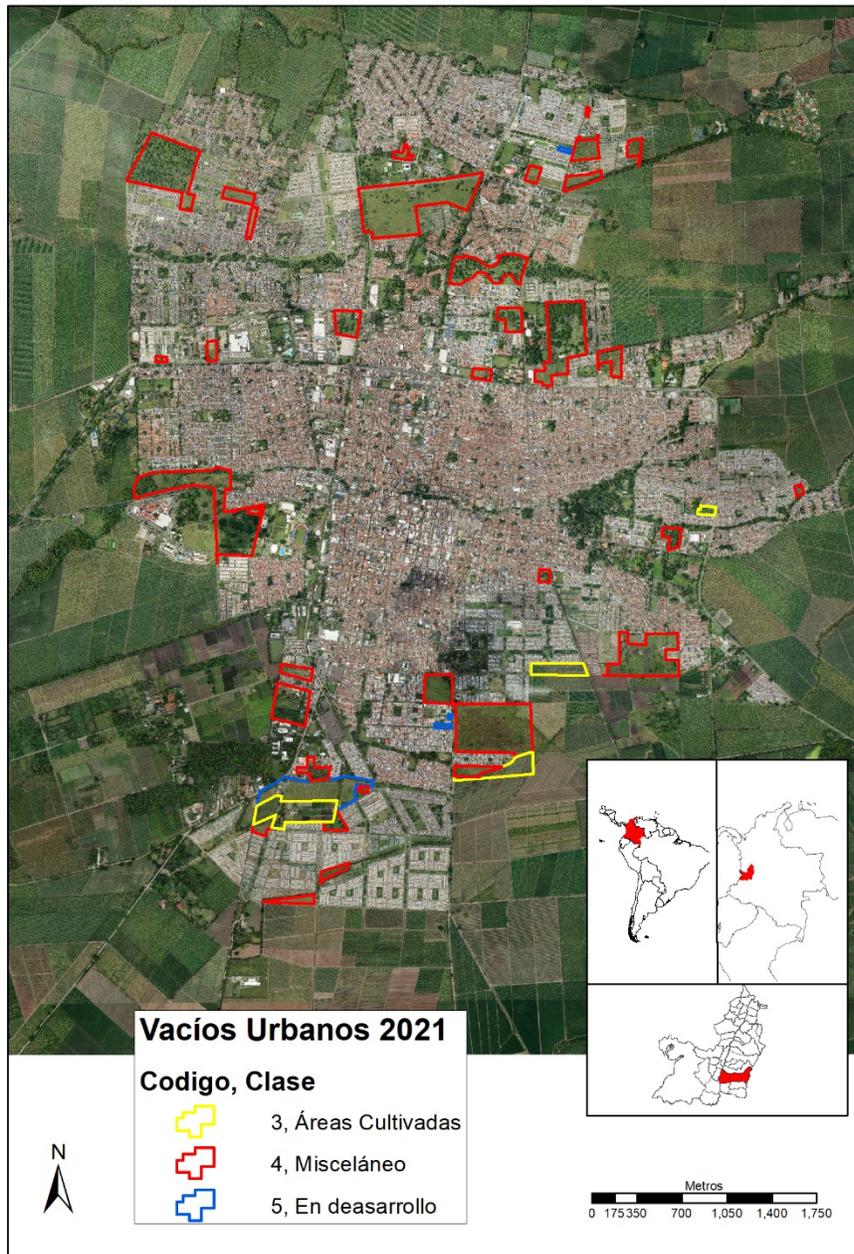


Figura 12. Vacíos urbanos al interior del perímetro 028 de 2014.

Para determinar los vacíos urbanos y según la clasificación de coberturas y el análisis multitemporal la dinámica de cambio, se identifican zonas que por su cobertura y después de cruzarse con el espacio público efectivo se consideran zonas que podrían ser espacio disponible para el municipio.

5.1.10 Conclusiones y recomendaciones

Con este trabajo se logró identificar la variación espaciotemporal de la dinámica de crecimiento espacial de la cabecera municipal con el apoyo de información derivada de sensores remotos y herramientas de análisis como los SIG, generando información estadística que servirá de insumo para análisis más exhaustivos que integren variables como la población y las tendencias de ocupación con un enfoque urbanístico.

La imagen entregada por La CVC con su alta resolución espacial logra mejorar la fotointerpretación de las coberturas asignadas y también sirvió de referencia para ajustar las demás, quedando todo el análisis en el ITRF14 época 2018.0 y su sistema de proyección es MAGNA Oeste.

Los insumos utilizados y la metodología utilizada fueron adecuados para mejorar la escala trabajo, logrando identificar los vacíos urbanos, tanto al interior del área de estudio, como al interior del perímetro urbano vigente.

La cabecera municipal de Palmira está creciendo por la implementación de planes de vivienda por parte del Estado que han aumentado la densidad sobre la periferia especialmente al sur sector La Italia y al norte sector Alameda.

El cambio más significativo se dio en el periodo 2009-2016.

Se nota también, como las administraciones pasadas no se interesaron por la planificación municipal.

Para el año 2016 solo el área de expansión Santa Barbara se encontraba en desarrollo.

Se alcanzan los objetivos planteados y se generó conocimiento e información que permitirá entender la dinámica de expansión de la cabecera municipal y aplicar esta metodología a los demás centros poblados del municipio.

El perímetro urbano se ajustó para el ejercicio a la realidad geográfica con la ortofoto CVC 2021.

5.1.11 Referencias

- Pontius, 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 101 (2004) 251–268.
- Humacata Luis, 2018. Análisis espacial de los cambios de usos del suelo. Aplicación con Sistemas de Información Geográfica. *Revista Cartográfica* 98. ISSN (en línea) 2663-3981. Enero-junio 2019: 239-257.
- Barraza Gabriela, 2017. Diseño de un modelo de demanda de superficie para la simulación geoespacial de usos de suelo en Novolato y Culiacán, Sinaloa, México.

PERSONA Y SOCIEDAD / Universidad Alberto Hurtado. México 16 de enero, 2017.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (1996). Evaluación de los recursos forestales mundiales 1990 (Informe Principal). Roma, Italia: FAO.
- Sánchez Oscar, 2018, cambios de cobertura en el área urbana, área de expansión y corredores metropolitanos de la zona sur y norte de Santiago de Cali - años 1984, 2000 y 2015. Proyecto de grado Especialización en Geomática Universidad de Manizales.
- Pombo Daila, 2018. Expansión urbana acelerada en una ciudad intermedia: causas y consecuencias Santa Rosa - La Pampa Argentina. Universidad Nacional de Córdoba.
- Aguilera Benavente, F. (2006): "Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares", GeoFocus (Artículos), n.º 6, p. 81-112. ISSN: 1578-5157
- Barraza Gabriela, 2017. Diseño de un modelo de demanda de superficie para la simulación geoespacial de usos de suelo en Novolato y Culiacán, Sinaloa, México.
- López Víctor, 2014. Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. CIENCIA ergo-sum, ISSN 1405-0269, Vol. 22-2, julio-octubre 2015. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. Pp. 136-144.
- IDOM, 2018. Estudio de crecimiento y evolución de la huella urbana para los municipios que conforman el área Bogotá Región. Capítulo 2. Análisis histórico y evolución de la huella urbana.
- June 2010. Publisher: IDEAM Editor: Néstor Javier Martínez Ardila - IDEAM, Uriel Gonzalo Murcia García, Sinchi. ISBN: 978-958-806729-2.
- IDEAM 2010. Metodología Corine Land Cover. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>. Consultada en Agosto de 2021.