

**Universidad de Costa Rica**

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Topográfica

**Análisis de los principales factores que incidieron en la  
fragmentación urbana en el cantón de San Rafael de la  
provincia de Heredia entre 1990 y 2019**

Proyecto de Graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería Topográfica

Sustentante

Andrés Agustín Flores Lezcano

B32631

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

Mayo, 2022



## **Tribunal Evaluador del Trabajo Final de Graduación**

Ing. Saulo Richmond Solera, Lic.  
Director del Proyecto de Graduación

Arq. Karla Barrantes Chaves, Dra.  
Asesora del Proyecto de Graduación

Ing. Alexander Cerdas Hernández, M.Sc.  
Asesor del Proyecto de Graduación

Ing. Robert Laurent Sanabria, M.Sc.  
Presidente del Tribunal Evaluador

Ing. Gustavo Lara Morales, M.Sc.  
Miembro del Tribunal Evaluador

Andrés Agustín Flores Lezcano  
Sustentante

## **Derechos de propiedad intelectual**

El suscrito, Andrés Agustín Flores Lezcano, cédula 116150059, estudiante de la carrera de Bachillerato y Licenciatura en Ingeniería Topográfica de la Universidad de Costa Rica, con carné universitario B32631, manifiesto que soy autor del Proyecto de Graduación titulado *Análisis de los principales factores que incidieron en la fragmentación urbana en el cantón de San Rafael de la provincia de Heredia entre 1990 y 2019*, bajo la dirección del Ing. Saulo Richmond Solera, Lic., y la asesoría de la Arq. Karla Barrantes Chaves, Dra., y del Ing. Alexander Cerdas Hernández, M.Sc.

Asimismo, doy aval para que la Universidad de Costa Rica garantice el acceso público a los resultados del presente Trabajo Final de Graduación, con fines de docencia, investigación, acción social y divulgación.



## **Dedicatoria**

A mis padres, Agustín Flores Barrantes y Ana Lezcano Lezcano, por su apoyo y amor incondicional, por todos los sacrificios realizados, por los consejos dados para nunca alejarme del camino correcto y por siempre creer en mis capacidades para lograr todo lo que me he propuesto.

## **Agradecimientos**

A mi tutor y amigo, el Ing. Saulo Richmond Solera, por el interés mostrado en el trabajo y el apoyo que brindó a lo largo del mismo, por el tiempo otorgado a la realización y revisión del trabajo, por los valiosos comentarios y los consejos dados.

A los profesores Alexander Cerdas Hernández y Karla Barrantes Chaves, que en su labor de asesores siempre estuvieron implicados en la ejecución del trabajo, con sus consejos y comentarios.

A la Licda. Rebeca Bonilla Rodríguez, por la ayuda brindada de inicio a fin del trabajo.

A mi jefe y amigo, el Ing. Christian Redondo Molina, por las palabras de aliento cuando fueron necesarias y por el apoyo incondicional durante la ejecución del trabajo.

A mis hermanos, por el apoyo incondicional brindado a lo largo de mi vida personal y académica.

A mis amigos, María José Mora Cascante y el Ing. Luis Gerardo Monge Beita, por estar presentes cuando fue necesario tener una palabra de aliento y brindar de su tiempo para acompañarme durante la realización del trabajo final de graduación.

Este nuevo logro en mi vida es en parte gracias a todos ustedes; gracias a sus aportes he logrado concluir una fase en mi vida que hasta hace muy poco tiempo lo veía como algo lejano e incluso imposible de lograr. Mis más sinceros agradecimientos a todos ustedes.

## Resumen

A partir del año 1990, en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica se ha dado un aumento en la constitución de desarrollos urbanos privados de tipo condominio, lo cual ha intensificado la dispersión de las áreas construidas. El proyecto busca identificar cuáles fueron los factores que incidieron en la fragmentación urbana del cantón de San Rafael de la provincia de Heredia entre 1990 y 2019, para su futura consideración en la creación de políticas de ordenamiento territorial.

En primer lugar, se realiza una caracterización de la zona de estudio, tomando en consideración parámetros geográficos, demográficos, socioeconómicos, físicos y ambientales, así como la cuantificación de las áreas con cobertura urbana y cobertura vegetal. A continuación, siguiendo la metodología aplicada en la ciudad de Zinantepec, en México, se dividió el área de estudio en dos zonas, en las cuales se analizaron, tanto dentro de los condominios como fuera de ellos, las variables de agrupación de viviendas, acceso a servicios públicos y equipamiento y sistema vial, para determinar la existencia de fragmentación urbana. Finalmente, se analizan los factores de valor del terreno, inseguridad ciudadana, aprovechamiento de los espacios, cumplimiento de la normativa urbana, tamaño de los condominios y continuidad vial, y equipamiento urbano, con la finalidad de señalar los factores que fueron incidentes en el proceso de fragmentación urbana.

Los resultados mostraron la existencia de fragmentación urbana en el cantón de San Rafael de la provincia de Heredia, donde se da una marcada diferenciación entre las condiciones disponibles para las personas que habitan dentro de condominios y quienes residen fuera de ellos. De igual manera, se

señala que en la zona urbana del cantón los factores de valor del terreno, mal aprovechamiento de los espacios, tamaño de los condominios y continuidad vial, y equipamiento urbano, son factores incidentes en el fenómeno de la fragmentación urbana, mientras que en la zona rural los factores incidentes son el valor del terreno, la inseguridad ciudadana, el incumplimiento de la normativa urbana y el equipamiento urbano.

### **Cita bibliográfica**

Flores, A. (2022). *Análisis de los principales factores que incidieron en la fragmentación urbana en el cantón de San Rafael de la provincia de Heredia entre 1990 y 2019*. (Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Topográfica). Universidad de Costa Rica.

**Palabras clave:** condominio, fragmentación urbana, inseguridad ciudadana, ordenamiento territorial, recarga hídrica, segregación urbana, teledetección, valor del terreno.

Ing. Saulo Richmond Solera, Lic.

Director del Proyecto de Graduación

# Índice general

<b>Capítulo I. Introducción</b> .....	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Importancia .....	2
1.3. Antecedentes .....	3
1.4. Objetivos .....	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	7
1.5. Alcances.....	7
1.6. Limitaciones .....	9
<b>Capítulo II. Marco teórico</b> .....	11
2.1. Fragmentación urbana .....	11
2.1.1. Conceptos asociados a la fragmentación urbana .....	11
2.1.2. Factores generadores de fragmentación urbana .....	13
2.2. Ordenamiento territorial y recarga de acuíferos .....	16
2.2.1. Planificación urbana en la GAM.....	18
2.2.2. Ordenamiento territorial en la protección de áreas de recarga de acuíferos .....	21
2.3. Teledetección .....	23
2.3.1. Imágenes satélites.....	26
2.3.2. Corrección de imágenes satelitales .....	27
2.3.3. Índices normalizados .....	27
<b>Capítulo III. Metodología</b> .....	31
3.1. Caracterización de la zona de estudio .....	31
3.1.1. Definición de parámetros geográficos .....	31
3.1.2. Definición de parámetros demográficos .....	31
3.1.3. Definición de parámetros socioeconómicos .....	32
3.1.4. Definición de parámetros físicos.....	32
3.1.5. Definición de parámetros ambientales.....	33
3.2. Determinación de cobertura urbana y cobertura vegetal.....	33
3.2.1. Cobertura urbana.....	36
3.2.2. Cobertura vegetal .....	36
3.3. Verificación de la existencia de fragmentación urbana .....	37
3.4. Determinación de los factores incidentes en el fenómeno de la fragmentación urbana.....	38

<b>Capítulo IV. Análisis de resultados</b> .....	43
4.1. Caracterización de la zona de estudio .....	43
4.1.1. Parámetros geográficos.....	43
4.1.2. Parámetros demográficos.....	49
4.1.3. Parámetros socioeconómicos.....	60
4.1.4. Parámetros físicos .....	73
4.1.5. Parámetros ambientales .....	75
4.2. Cobertura urbana y cobertura vegetal.....	82
4.2.1. Cobertura urbana.....	83
4.2.2. Cobertura vegetal .....	84
4.3. Verificación de la existencia de fragmentación urbana .....	89
4.4. Factores incidentes en el fenómeno de la fragmentación urbana .....	103
4.4.1. Zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1) .....	104
4.4.2. Zona rural del cantón de San Rafael (zona 2).....	118
<b>Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones</b> .....	133
5.1. Conclusiones.....	133
5.2. Recomendaciones.....	137
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	139
<b>Anexos</b> .....	147

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Características de las bandas espectrales de los satélites de la misión LANDSAT 5.....	24
Cuadro 2. Características de las bandas espectrales de los satélites de la misión LANDSAT 7.....	25
Cuadro 3. Características de las bandas espectrales de los satélites de la misión LANDSAT 8.....	25
Cuadro 4. Tipos de terreno según el porcentaje de pendiente.....	33
Cuadro 5. División administrativa del cantón de San Rafael.....	43
Cuadro 6. Centros educativos ubicados en el cantón de San Rafael.....	45
Cuadro 7. Proyectos urbanísticos ubicados en el cantón de San Rafael, según el tipo de proyecto.....	47
Cuadro 8. Datos demográficos del cantón de San Rafael en el año 2011, por distrito	49
Cuadro 9. Proyecciones demográficas para el año 2019 en el cantón de San Rafael, por distrito.....	49
Cuadro 10. Cantidad de habitantes con NBI en el cantón de San Rafael, según cantidad de NBI y distrito.....	55
Cuadro 11. Resumen de valores fiscales y de mercado de los terrenos en las distintas zonas homogéneas del cantón de San Rafael y su variación porcentual.....	63
Cuadro 12. Área por tipo de terreno en el cantón de San Rafael, según el intervalo de pendiente.....	75
Cuadro 13. Características de los conjuntos de bandas espectrales seleccionados ...	82
Cuadro 14. Área con cobertura urbana en el cantón de San Rafael para cada año en estudio, según el NDBI calculado y la delimitación de áreas.....	84
Cuadro 15. Área con cobertura vegetal en el cantón de San Rafael para cada año en estudio, según el NDVI y las máscaras de sombras y nubes.....	85
Cuadro 16. Proceso de fragmentación urbana en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1), entre 1990 y 2019.....	91
Cuadro 17. Proceso de fragmentación urbana en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2), entre 1990 y 2019.....	92
Cuadro 18. Parámetros estadísticos asociados a la variación porcentual de los valores del terreno en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1).....	105
Cuadro 19. Delitos registrados en el área de influencia de los condominios de tipo residencial de la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1) en los años 2010, 2015 y 2019.....	111
Cuadro 20. Parámetros estadísticos asociados a la variación porcentual de los valores del terreno en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2).....	119
Cuadro 21. Delitos registrados en el área de influencia de los condominios de tipo residencial de la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2) en los años 2010, 2015 y 2019.....	125

## Índice de figuras

Figura 1. Anillo de contención urbana y zonas de prioridad para la densificación en la GAM .....	20
Figura 2. Diagrama de flujo del trabajo de investigación .....	42
Figura 3. División administrativa y red vial del cantón de San Rafael.....	44
Figura 4. Centros educativos y principales poblados del cantón de San Rafael.....	46
Figura 5. Desarrollos urbanísticos en el cantón de San Rafael .....	48
Figura 6. Distribución espacial de habitantes en el cantón de San Rafael, por UGM ..	51
Figura 7. Densidad poblacional en el cantón de San Rafael, por UGM .....	52
Figura 8. Distribución espacial de viviendas en el cantón de San Rafael, por UGM....	53
Figura 9. Densidad habitacional en el cantón de San Rafael, por UGM .....	54
Figura 10. Distribución espacial de la población con una NBI en el cantón de San Rafael, según el porcentaje de población por UGM .....	56
Figura 11. Distribución espacial de la población con dos NBI en el cantón de San Rafael, según el porcentaje de población por UGM .....	57
Figura 12. Distribución espacial de la población con tres NBI en el cantón de San Rafael, según el porcentaje de población por UGM .....	58
Figura 13. Distribución espacial de la población con cuatro NBI en el cantón de San Rafael, según el porcentaje de población por UGM .....	59
Figura 14. Mapa de valores de mercado de terrenos en el cantón de San Rafael, por zona homogénea .....	61
Figura 15. Cantidad de robos registrados en el cantón de San Rafael entre 2004 y 2019, por distrito.....	69
Figura 16. Cantidad de asaltos registrados en el cantón de San Rafael entre 2004 y 2019, por distrito .....	69
Figura 17. Cantidad de hurtos registrados en el cantón de San Rafael entre 2004 y 2019, por distrito.....	70
Figura 18. Cantidad de tachas de vehículos registradas en el cantón de San Rafael entre 2004 y 2019, por distrito .....	70
Figura 19. Cantidad de robos de vehículos registrados en el cantón de San Rafael entre 2004 y 2019, por distrito .....	70
Figura 20. Cantidad de homicidios registrados en el cantón de San Rafael entre 2004 y 2019, por distrito .....	71
Figura 21. Cantidad de delitos registrados entre 2004 y 2019 en el distrito de San Rafael .....	71
Figura 22. Cantidad de delitos registrados entre 2004 y 2019 en el distrito de San Josecito .....	71
Figura 23. Cantidad de delitos registrados entre 2004 y 2019 en el distrito de Santiago .....	72
Figura 24. Cantidad de delitos registrados entre 2004 y 2019 en el distrito de Ángeles .....	72
Figura 25. Cantidad de delitos registrados entre 2004 y 2019 en el distrito de Concepción .....	72
Figura 26. Cantidad de delitos registrados entre 2004 y 2019 en el cantón de San Rafael .....	73
Figura 27. Caracterización topográfica del cantón de San Rafael, por tipo de terreno en función de la pendiente.....	74
Figura 28. Hidrografía del cantón de San Rafael .....	77
Figura 29. Acuíferos, zonas de recarga de acuíferos y áreas silvestres protegidas en el cantón de San Rafael .....	79



Figura 30. Cantidad de pozos ubicados en el cantón de San Rafael, según el tipo de aprovechamiento .....	80
Figura 31. Distribución espacial de los pozos ubicados en el cantón de San Rafael...	81
Figura 32. Distribución espacial de las coberturas urbana y vegetal en el cantón de San Rafael en el año 1990.....	86
Figura 33. Distribución espacial de las coberturas urbana y vegetal en el cantón de San Rafael en el año 2019.....	87
Figura 34. Cambio en las coberturas urbana y vegetal en el cantón de San Rafael, entre los años 1990 y 2019.....	88
Figura 35. División de la zona urbana (zona 1) y la zona rural (zona 2) en el cantón de San Rafael.....	90
Figura 36. Proyectos urbanísticos constituidos en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1), entre 1990 y 2019.....	95
Figura 37. Proyectos urbanísticos constituidos en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2), entre 1990 y 2019 .....	96
Figura 38. Cambio ocurrido en la cobertura urbana en el cantón de San Rafael entre 1990 y 2019.....	97
Figura 39. Áreas públicas recreativas y proyectos urbanísticos desarrollados en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1).....	101
Figura 40. Áreas públicas recreativas y proyectos urbanísticos desarrollados en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2).....	102
Figura 41. Mapa de calor de delitos reportados en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1) en el año 2010 .....	108
Figura 42. Mapa de calor de delitos reportados en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1) en el año 2015.....	109
Figura 43. Mapa de calor de delitos reportados en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1) en el año 2019.....	110
Figura 44. Mapa de calor de delitos reportados en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2) en el año 2010 .....	122
Figura 45. Mapa de calor de delitos reportados en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2) en el año 2015 .....	123
Figura 46. Mapa de calor de delitos reportados en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2) en el año 2019 .....	124

## Siglas y acrónimos

**CFIA:** Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos.

**CRTM05:** Transversal de Mercator para Costa Rica 2005.

**DEM:** Modelo digital de elevación.

**EBAIS:** Equipos Básicos de Atención Integral en Salud.

**GAM:** Gran Área Metropolitana.

**INEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censos.

**INVU:** Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo.

**MEP:** Ministerio de Educación Pública.

**MIVAH:** Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos.

**NASA:** Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio.

**NBI:** Necesidad básica insatisfecha.

**NDBI:** Índice de diferencia normalizada construida.

**NDVI:** Índice de diferencia normalizada de vegetación.

**OIJ:** Organismo de Investigación Judicial.

**SENARA:** Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.

**SIG:** Sistema de Información Geográfica.

**SNIT:** Sistema Nacional de Información Territorial.

**UGM:** Unidades geoestadísticas mínimas.

**USGS:** Servicio Geológico de los Estados Unidos.

# Capítulo I. Introducción

## 1.1. Descripción del problema

El cantón de San Rafael es el número 5 de la provincia de Heredia y abarca un área de 48,33 km<sup>2</sup>, limita al norte con el distrito Vara Blanca del cantón de Heredia, al sur con los cantones de Heredia y San Pablo, al este con el cantón de San Isidro y al oeste con el cantón de Barva. El cantón se encuentra dentro de la Gran Área Metropolitana (GAM) y desarrolla su economía principalmente en el sector comercial y de servicios.

San Rafael se divide administrativamente en 5 distritos: San Rafael, San Josecito, Santiago, Los Ángeles y Concepción. El distrito San Rafael es la cabecera del cantón, siendo el de mayor desarrollo urbano, San Josecito y Santiago son los otros dos distritos más urbanizados, mientras que hacia los sectores este y noreste del cantón se encuentran los distritos de Los Ángeles y Concepción, que presentan grandes zonas de bosque.

Según una nota publicada por El Mundo CR (Pérez, 2018), a partir del año 1990 en la GAM se ha intensificado la dispersión de las áreas construidas mediante la formación de desarrollos urbanos privados de tipo condominio. Este incremento en la construcción de condominios está asociado en algunos casos con la tala de árboles en zonas boscosas para generar nuevos espacios urbanizables; situación presente en el cantón de San Rafael. Este corte de árboles en ocasiones ha sido permitido por las autoridades correspondientes por tratarse de especies no nativas, lo cual ha sido mencionado en varias ocasiones en medios de comunicación nacionales, tales como El Mundo CR (Madrigal, 2015) y Teletica, y denunciado por vecinos de la zona y organizaciones

defensoras del ambiente, como la Fundación de Protección y Vigilancia de los Recursos Naturales de Heredia Ad Honorem (FU-PROVIRENA).

Diferentes instituciones, incluso gubernamentales, como SENARA, han evidenciado que bajo los terrenos del cantón de San Rafael se encuentran zonas de muy alta recarga hídrica para los acuíferos Barva y Colima, que son de mucha importancia para los habitantes de la GAM, abasteciendo a más de 2 millones de personas.

Existe un vacío de información acerca de los factores que impulsaron el incremento en la fragmentación urbana, pues no se han encontrado investigaciones ni estudios previos en esta materia para el cantón de San Rafael, pero es un hecho que provocan fragmentación urbana y ponen en riesgo la disponibilidad del recurso hídrico de una gran cantidad de la población del país.

## 1.2. Importancia

La investigación permite conocer la manera en que las políticas de ordenamiento territorial actuales pueden incidir en aspectos como la salud de los pobladores, los servicios disponibles, las necesidades de vivienda, la segregación socioeconómica, el desarrollo de los barrios y comunidades cerradas y la seguridad ciudadana. Para efectos de esta investigación, el concepto de comunidad cerrada debe entenderse como sinónimo de condominio, que en Costa Rica es el régimen de tenencia de la tierra que permite agrupar comunidades en espacios privados de acceso restringido.

Los resultados de la investigación son uno de los insumos que permiten modificar los planteamientos usados en la actualidad en materia de ordenamiento territorial, evitando el crecimiento urbano desmedido y en lugares

no aptos para este tipo de desarrollo, que atentan contra el ecosistema boscoso y la protección de zonas de alta importancia hídrica.

La información recabada podrá ser aprovechada por la Municipalidad de San Rafael y las instituciones relacionadas con cada uno de los factores que se logren identificar como generadores del fenómeno de la fragmentación urbana, para conjuntamente buscar estrategias de mitigación de estos factores y, de ser posible, estrategias para la prevención de otros que puedan venir derivados de los que se determinen.

La presión que ejerce el desarrollo urbano sobre zonas que deberían ser de uso más restrictivo se origina en el fenómeno de la fragmentación urbana, el cual debe ser comprendido en sus orígenes si se desea buscar soluciones. Dada la amplia diversidad de factores que pueden desencadenar este fenómeno, es necesario identificar los principales para plantear estrategias de ordenamiento territorial que mitiguen sus impactos.

### 1.3. Antecedentes

En el ensayo “Segregación residencial y fragmentación urbana: los fraccionamientos cerrados de Guadalajara”, Cabrales y Canosa (2001, pp. 223-225) evidencian cómo el nivel económico influye en la conformación de las comunidades de la ciudad de Guadalajara, México, donde las personas de bajos recursos forman los conocidos *ghettos* y los más adinerados, movidos por iniciativas de desarrolladores inmobiliarios, provocan la proliferación de las urbanizaciones privadas. Desde un inicio, estos proyectos tenían el claro objetivo de lograr una diferenciación de clases entre los habitantes de estas comunidades

cerradas y los que habitan en el centro de la ciudad, vista esta última como la representación de lo sucio, lo pobre y lo anticuado.

En el artículo “Fragmentación espacial y procesos de integración social ‘hacia arriba’. Sociabilización, sociabilidad y ciudadanía”, Svampa (2004, pp. 55-61) menciona que las personas de clases medias-altas y altas, identificados como los “ganadores”, optan por habitar en urbanizaciones privadas y alejadas de las otras personas, los “perdedores”, grupo conformado por los integrantes de la clase media tradicional y quienes dedican su vida al sector de servicios. Además, agrega que estos desarrollos privados ilustran correctamente las nuevas modalidades de ocupación del territorio.

En el caso de las urbanizaciones privadas en la ciudad de Buenos Aires, Argentina, la autora menciona que los habitantes de estas manifiestan que una de sus motivaciones principales para residir en este tipo de desarrollos urbanos es la búsqueda de la seguridad, la búsqueda de un lugar donde sus hijos puedan interactuar con otros sin la preocupación de que algo malo les pueda suceder. La inseguridad ciudadana forma parte, en este caso, de los factores que provocan la fragmentación urbana.

De igual manera, en su artículo “La fragmentación urbana y la segregación social una aproximación conceptual”, Guzmán y Hernández (2013, pp. 42-46) mencionan que la fragmentación forma parte del proceso histórico de la conformación de las ciudades, donde las principales divisiones se han formado debido a la división de clases, y la vinculan al fenómeno de la metropolización.

Los autores resaltan que las ciudades actuales se han dejado de planificar en conjunto para hacerlo por partes, en forma de islas o conjuntos cerrados,

cubriendo las necesidades y gustos que se van presentando con el pasar del tiempo. Los grupos sociales económicamente favorecidos han buscado la manera de diferenciarse de los otros grupos sociales, introduciendo el concepto de la polarización social que lleva a la fragmentación urbana.

Con respecto a la fragmentación urbana propia de la GAM, en el artículo “El círculo vicioso de la fragmentación espacial y segregación social en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica”, van Lidth de Jeude y Schütte (2013, pp. 38-41) concluyeron que, a pesar de que el país tiene uno de los índices más bajos de violencia en el istmo, los habitantes consideran la inseguridad como uno de los mayores problemas de Costa Rica.

Además, identificaron que la segregación urbana va estrechamente de la mano con la fragmentación urbana, siendo que “la GAM está compuesta por diferentes mundos de vida urbana que son espacialmente fragmentados y socialmente segregados” (van Lidth de Jeude y Schütte, 2013, pp. 66-67), haciendo alusión a la marcada diferenciación de las clases sociales en relación a los lugares que habitan.

Adicionalmente, en el artículo “Barrios ‘conviviendo’ con comunidades cerradas: entre el miedo y la segregación. Caso de la GAM-Costa Rica”, Barrantes (2019, pp. 66-76) concluye que, a pesar de que en Latinoamérica se ha buscado disminuir las desigualdades que existen entre las poblaciones, logrando cifras que demuestran mayor equidad en la actualidad en comparación con años pasados, en Costa Rica la tendencia ha sido opuesta.

Como consecuencia de esta creciente desigualdad en el país, el miedo al crimen ha venido en aumento e intensifica el deseo de las personas por

desplazarse a comunidades cerradas, lo cual se ha ratificado con la creciente proliferación de estos desarrollos urbanos privados en la GAM, afectando la dinámica de los lugares en los que se ubican. (Barrantes, 2019, pp. 66-76)

Específicamente en términos de la zona de estudio y como ejemplo de las prácticas de tala de árboles, en la nota periodística titulada “Masiva tala de árboles en Heredia pone en peligro el agua del GAM” (Madrigal, 2015), se menciona que en la zona cercana al residencial Del Monte, ubicado en San Rafael, se cortaron árboles en territorio considerado inalienable y protegido por la Ley Forestal, dada su importancia para la atracción de diferentes especies de aves, la contención de los isovientos y el abastecimiento de agua de las nacientes de la zona.

La influencia de las comunidades cerradas en el fenómeno de la fragmentación urbana es analizada por Contreras et al. (2018) en el artículo “Manifestaciones de fragmentación urbana vinculadas a urbanizaciones cerradas: el caso del Municipio Metropolitano de Zinacantepec, Estado de México, 1990-2012”. Según los autores, estas comunidades son habitadas principalmente por personas de altos recursos económicos y rompen con el entramado de las ciudades (p. 2).

Dicha investigación emplea una metodología cuantitativa, donde a partir de la información recopilada de distintas fuentes se analizaron las variables de equipamiento, servicios públicos y vialidad, dividiendo el área de estudio en tres zonas de análisis. Posteriormente, se estudió el cambio de estas variables en el tiempo en cada zona, con el fin de identificar su estado antes y después de la constitución de las comunidades cerradas y, finalmente, analizar su influencia en la fragmentación urbana. (Contreras et al., 2018, pp. 5-6)



## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivo general

Determinar los principales factores que incidieron en la fragmentación urbana en el cantón de San Rafael de la provincia de Heredia entre 1990 y 2019 para su consideración en futuras políticas de ordenamiento territorial.

### 1.4.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar la zona de estudio en función de parámetros geográficos, demográficos, socioeconómicos, físicos y ambientales.
2. Realizar un estudio cronológico del cambio en las coberturas urbana y vegetal dentro de la zona de estudio para los años 1990, 1996, 2000, 2010, 2016 y 2019.
3. Demostrar la existencia de fragmentación urbana en el cantón de San Rafael de la provincia de Heredia entre 1990 y 2019.
4. Establecer relaciones entre los parámetros físicos, geográficos, demográficos, socioeconómicos y ambientales que caracterizan la zona de estudio y la fragmentación urbana que ha presentado.

## 1.5. Alcances

La identificación de los factores que incidieron en la fragmentación urbana del cantón de San Rafael de la provincia de Heredia, se realizó por medio del procesamiento y análisis de imágenes satelitales, datos geospaciales e información de bases de datos de instituciones públicas, correspondientes al intervalo que va de 1990 hasta el 2019.

La información utilizada fue la que se encontró disponible en las bases de datos de instituciones públicas, tales como:

- La Municipalidad de San Rafael, mediante el diagnóstico del estado del cantón empleado para crear la propuesta del plan regulador (2005).
- El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), del cual se obtuvo la información referente a la cantidad de habitantes, cantidad de viviendas, tipo y condición de las viviendas, densidad poblacional y habitacional de las unidades geoestadísticas mínimas (UGM) que componen el cantón.
- El Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU) y el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), de los cuales se recopiló la cantidad y ubicación de proyectos urbanísticos desarrollados por año.
- El Organismo de Investigación Judicial (OIJ), que permitió tabular la cantidad de crímenes por año ocurridos y analizar el mapa de calor de criminalidad.
- El Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), que junto con la Municipalidad de San Rafael brinda la información necesaria para ubicar los acuíferos y zonas de recarga ubicadas en la zona de estudio, así como las concesiones de explotación de pozos.

La investigación abarca los factores geográficos, demográficos, socioeconómicos, físicos y ambientales, sin perjuicio de otros que puedan tener un impacto directo como generadores de la dispersión urbana.

## 1.6. Limitaciones

La información referente a los censos poblacionales y habitacionales, proporcionada por el INEC, fue actualizada por última vez con el censo del año 2011, por lo que se utilizaron las proyecciones realizadas para el año 2019 con el fin de completar la información. Lo anterior es de esta manera debido a que el nuevo censo fue pospuesto.

El cantón de San Rafael no cuenta con un plan regulador debidamente aprobado y oficializado. Sin embargo, la Municipalidad dispone de varios diagnósticos del estado del cantón.

Se usaron las imágenes satelitales disponibles en el sitio EarthExplorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) para las misiones LANDSAT 5, 7 y 8, en cada uno de los años seleccionados dentro del intervalo de estudio. Para el año 1995 no se cuenta con imágenes satelitales en la zona de estudio, por lo cual se inició con un distanciamiento temporal de 6 años, ya que sí hay imágenes disponibles del año 1996. A partir del año 2000 y hasta el 2019, se continuó con saltos temporales de 5 años.

Los datos de criminalidad del OIJ solo se encuentran disponibles a partir del año 2004 y georreferenciados a partir del año 2010. A lo anterior se agrega que los datos corresponden únicamente a delitos reportados y no a la totalidad de delitos ocurridos.



## Capítulo II. Marco teórico

En este capítulo, se definen los temas principales sobre los cuales se basa la investigación, que son: fragmentación urbana, ordenamiento territorial, recarga de acuíferos y teledetección.

### 2.1. Fragmentación urbana

La fragmentación urbana es el eje central de la presente investigación, en este apartado se tratan conceptos asociados al fenómeno, como lo son la fragmentación del espacio y la segregación urbana. Además, se explican algunos de los factores que han sido considerados como generadores de la fragmentación urbana, entre ellos la inseguridad ciudadana, la densidad poblacional y habitacional, la disponibilidad de servicios públicos y el valor de los inmuebles.

#### 2.1.1. Conceptos asociados a la fragmentación urbana

Como punto de partida, se inicia con el concepto de la fragmentación del espacio, que para Sapena y Ruiz (2015) es el:

Proceso por el cual los usos del suelo se segregan espacialmente, variando las relaciones de continuidad dentro de cada uso y entre los diferentes usos existentes. Este fenómeno tiene lugar fundamentalmente como consecuencia de procesos antrópicos, aunque también puede deberse a desastres naturales y puede darse en entornos naturales, rurales, urbanos o mixtos, afectando al medio ambiente, al paisaje, o a la calidad de vida urbana. (p. 78)

Por su parte, la fragmentación urbana es “un proceso mediante el cual la ciudad va perdiendo unidad y se va dividiendo en áreas independientes y aisladas entre sí” (Luque, 2008, p. 53). El autor considera este proceso como un inconveniente para las ciudades, ya que provoca que algunas áreas se vean relegadas y la comunicación y los desplazamientos se dificulten (pp. 53-54).

Al respecto, Sapena y Ruiz (2015) mencionan que:

La fragmentación urbana permite conocer e identificar las características y patrones de crecimiento urbano y los impactos que tienen sobre el territorio. Su estudio permite caracterizar las transformaciones más evidentes de las áreas urbanas y su evolución en el tiempo. (p. 78)

Según Escolano-Utrilla et al. (2018), la fragmentación se caracteriza por la presencia de barreras que rompen con el comportamiento y homogeneidad de los usos de suelo y "se estima por la superficie ocupada por los espacios vacíos y no edificados y, sobre todo, por la intensidad y configuración de los espacios vallados" (p. 189).

Estrechamente relacionada al proceso de la fragmentación urbana se encuentra la segregación urbana. Según Baraño (2007), la segregación “se suele aplicar a la percepción espacial de la separación de grupos sociales con una homogeneidad económica, social, cultural o étnica” y esta puede ser horizontal o vertical (p. 330).

La segregación horizontal o segregación urbana es un proceso que “da origen a barrios o zonas claramente diferenciadas que, con frecuencia, coinciden con tipologías urbanísticas y arquitectónicas que tienen también una cierta distinción respecto al resto de la ciudad” (Baraño, 2007, p. 330).

Además, García y Peralta (2014, como se citó en Contreras et al., 2018) mencionan que las urbanizaciones cerradas por sí mismas generan fragmentación del espacio y agregan que “las residencias cerradas están contribuyendo a la inconexión del espacio y las áreas de la ciudad, fomentando la constitución de protoislas urbanas que dificultan el contacto entre individuos y grupos diversos” (p. 12).

### 2.1.2. Factores generadores de fragmentación urbana

El fenómeno de la fragmentación urbana nace a partir de ciertos factores que provocan que los núcleos urbanos pierdan su unidad y, por ende, los habitantes buscan nuevos lugares donde vivir o residir. Cada factor incide en mayor o menor medida en la fragmentación urbana de un territorio, pero la suma de ellos genera grandes dificultades en la conformación de ciudades eficientes con el mayor y mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.

#### 2.1.2.1. Inseguridad ciudadana

Dentro de los procesos de deterioro urbano se da la inseguridad ciudadana o miedo al crimen, que Rico y Chinchilla (2002) definen como el “fenómeno que la mayoría de la población suele identificar con el aumento real o supuesto de la delincuencia y una intervención desafortunada de los organismos estatales encargados de su prevención y represión” (p. 11).

Para Barrantes (2018, pp. 1-2), en Costa Rica el miedo al crimen no permite a los habitantes tener una calidad de vida adecuada. La conformación de comunidades cerradas no permite la cohesión social y genera una marcada diferenciación entre las personas que habitan las comunidades cerradas y el resto de la población.

Así mismo, Rojo (2015, p. 127) menciona que las ciudades cerradas no han ayudado a disminuir la delincuencia alrededor de los lugares en los que se han constituido, sino que solamente han generado mayor seguridad en los habitantes de las mismas.

La tasa de criminalidad puede ser obtenida al aplicar una ecuación como la siguiente, dada por Bravo (1993, p. 193):

$$\text{Tasa de criminalidad} = \frac{\text{Cantidad de delitos} \times 1000}{\text{Población total}} \quad (1)$$

El Organismo de Investigación Judicial (OIJ) clasifica los delitos reportados en 6 categorías, con la finalidad de diferenciar de manera efectiva el modo de actuar ante cada uno de ellos; estas categorías son: asalto, hurto robo, tacha de vehículo, robo de vehículo y homicidio (2018, p. 8).

#### 2.1.2.2. Densidad poblacional

La densidad poblacional, como menciona Fonseca (1991, p. 109), es el número de personas o viviendas que se asientan o habitan en un terreno fijo por un determinado intervalo de tiempo. El autor establece relaciones entre la densidad poblacional y la economía urbana, mencionando que:

Las bajas densidades representan mayor ocupación de terreno por un número reducido de viviendas; esto repercute en un mayor costo de obras de infraestructura por vivienda. De ahí que al buscar la relación alta densidad-alta rentabilidad adquieren importancia los edificios en alturas por viviendas. (p. 109)

La Municipalidad de San Rafael considera que una alta densidad se presenta a partir de las 40 viv/ha, una densidad media alrededor de las 20 viv/ha



y una baja densidad a valores menores a 10 viv/ha (2005, pp. VIII-29-VIII-35). Al respecto, Salom (2011, pp. 323-324) considera que las bajas densidades poblacionales imposibilitan a los habitantes tener acceso a servicios y espacios públicos de manera adecuada.

#### 2.1.2.3. Disponibilidad de servicios públicos

La fragmentación de los espacios urbanos puede generar que los habitantes deban realizar desplazamientos más largos en busca de satisfacer sus necesidades, como acceder a facilidades comunales o a ciertos servicios públicos que pueden no tener disponibles o con la frecuencia deseada por la ubicación de sus viviendas.

En el artículo 6 del Reglamento de Fraccionamiento y Urbanizaciones, se definen las facilidades comunales como “áreas de uso público dentro de un fraccionamiento con fines urbanísticos, una urbanización o un conjunto residencial, destinadas a la construcción de infraestructura comunitaria, de educación, salud, recreación, beneficencia u otras actividades para uso público”.

Dentro de los servicios públicos se incluyen: alumbrado, electricidad, agua potable, limpieza de vías y parques, recolección de residuos, salud, educación, atención de emergencias, teléfono, transporte, acera, cordón y caño, alcantarillado sanitario y pluvial, entre otros.

#### 2.1.2.4. Valor de los inmuebles

Para la definición del valor de un bien inmueble se lleva a cabo un avalúo. El Ministerio de Hacienda (2014) define un avalúo como “el conjunto de cálculos, razonamientos y operaciones, que sirven para determinar el valor de un bien inmueble de naturaleza urbana o rural, tomando en cuenta su uso” (p. 2).

Las variables a tomar en cuenta a la hora de realizar la valoración de un bien inmueble son diversas y se dividen con respecto a lo que se esté valorando. Para la valoración de terrenos algunas de ellas son: área, frente a calle pública, pendiente, nivel, ubicación en el cuadrante, servicios disponibles, regularidad y tipo de vía de acceso; mientras que para las construcciones se debe tomar en cuenta el área construida, edad del inmueble, tipología constructiva y estado de conservación. (Ministerio de Hacienda, 2014).

Entre los métodos de valoración de bienes inmuebles más utilizados se encuentra el método de las ventas comparables. Este método de valoración de bienes inmuebles toma en consideración otros bienes con características similares al que se desea valorar y se guía con el comportamiento del mercado.

#### 2.1.2.5. Otros factores

Otros autores han analizado factores como la exclusión social, factores físicos, ambientales, climatológicos y políticos. Por ejemplo, con respecto a la exclusión social, Luque (2008) menciona que gracias a ella se identifican marcadas divisiones en la sociedad y que algunos de los motivos por los cuales se genera esta división son cuestiones de nacionalidad, oficio, religión y capacidad económica. Una clara muestra de esta división de clases en el entramado urbano está en la presencia de espacios privados junto a barrios marginales, divididos por barreras artificiales que imposibilitan la relación entre ambos mundos. (2008, p. 56).

## 2.2. Ordenamiento territorial y recarga de acuíferos

En este apartado, se tienen como ejes principales la planificación urbana en la GAM y la participación del ordenamiento territorial en la protección de áreas

de recarga de acuíferos, donde se detalla la normativa que pretende un mejor ordenamiento territorial, los distritos de San Rafael que se encuentran tanto dentro como fuera del anillo de contención y se definen conceptos como el de ordenamiento territorial, planificación urbana, áreas urbanizables y no urbanizables, áreas de protección, aguas subterráneas, entre otros.

El urbanismo moderno se caracteriza por la zonificación de las ciudades de acuerdo a los principales usos que se dan en una determinada área, sin embargo, esto trae como consecuencia que los habitantes deban realizar mayores desplazamientos para cubrir algunas de sus necesidades. (Luque, 2008, pp. 51-52)

En el artículo 6 del Reglamento a la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos (Decreto Ejecutivo N° 29375), se define el ordenamiento territorial como “una estrategia concertada en todos los niveles de la sociedad, para promover y regular el uso del territorio, asignando estratégicamente cada porción de tierra a aquellos usos que sean socioeconómicamente rentables y ecológicamente sostenibles”.

El ordenamiento territorial se ve plasmado a escala local mediante la elaboración de los diagnósticos cantonales y la posterior creación del plan regulador. Los planes reguladores, según el artículo 1 de la Ley de Planificación Urbana (Ley N° 4240), se definen como:

El instrumento de planificación local que define en un conjunto de planos, mapas, reglamentos y cualquier otro documento gráfico o suplemento, la política de desarrollo y planes para distribución de la población, usos de

la tierra, vías de circulación, servicios públicos, facilidades comunales y construcción, conservación y rehabilitación de áreas urbanas.

### 2.2.1. Planificación urbana en la GAM

La dinámica urbanística en Costa Rica no se aleja de lo que se ha documentado en otros países de Latinoamérica, donde cada vez más se crean nuevos espacios urbanos en lugares que tradicionalmente se utilizaban para otros fines. Es importante entonces conocer cuáles espacios son aptos para desarrollar proyectos urbanísticos, sin dejar de lado lo estipulado en los planes reguladores que buscan un ordenamiento territorial acorde a las condiciones y posibilidades de cada cantón.

Según el artículo 1 de la Ley de Planificación Urbana, la planificación urbana es “el proceso continuo e integral de análisis y formulación de planes y reglamentos sobre desarrollo urbano, tendiente a procurar la seguridad, salud, comodidad y bienestar de la comunidad”.

Uno de los primeros esfuerzos formales en búsqueda de lograr una mejor organización de los principales centros urbanos de Costa Rica fue la creación del Plan GAM de 1982, este plan se creó como una manera de impulsar y concretar lo dispuesto en la Ley de Planificación Urbana. Con este proyecto se buscaba generar una herramienta de planificación regional en una zona con características similares, a partir del cual se desarrolló el primer anillo de contención urbana. (TEC Digital, s.f.).

Con el fin de mejorar y actualizar el ordenamiento territorial en la GAM, después del Plan GAM de 1982 se han desarrollado nuevos planes, sin llegar a consolidarse, como lo fue el PRUGAM y el POTGAM. Sin embargo, gracias a los

diagnósticos realizados para estos planes y tomando en consideración los resultados del Censo 2011, se logró generar el Plan GAM 2013-2030. Este nuevo plan busca darle un impulso a los planes reguladores y fortalecer la planificación urbana en los 31 cantones que comprende la GAM, incentivando desde esta la inversión nacional y extranjera y, por ende, fomentando las mejoras en la infraestructura. (Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, s. f.).

Como parte de esta planificación regional se establece el anillo de contención urbana. De acuerdo con el artículo 4 del Plan GAM 2013-2030, actualización del Plan Regional de la Gran Área Metropolitana (Decreto Ejecutivo N° 38334), se define al anillo de contención urbana como:

Línea imaginaria que delimita las áreas urbanas y de extensión urbana en contraposición de las áreas no urbanas fuera del límite. El área dentro del límite tiene un uso prioritario urbano y fuera del límite se denota como preferentemente rural. El límite urbano circunscribe el crecimiento de la ciudad dentro de un área específica y se convierte en uno de los elementos estructurantes más importantes para su desarrollo.

El Plan GAM 2013-2030 establece que los distritos de San Rafael, San Josecito y Santiago, del cantón de San Rafael, se ubican dentro del área comprendida por el anillo de contención urbana, mientras que los distritos de Ángeles y Concepción se encuentran fuera de esta delimitación territorial. (Secretaría Técnica del Plan Nacional de Desarrollo Urbano 2013–2030, 2013).

La delimitación de la GAM y del anillo de contención urbana se muestran en la Figura 1.

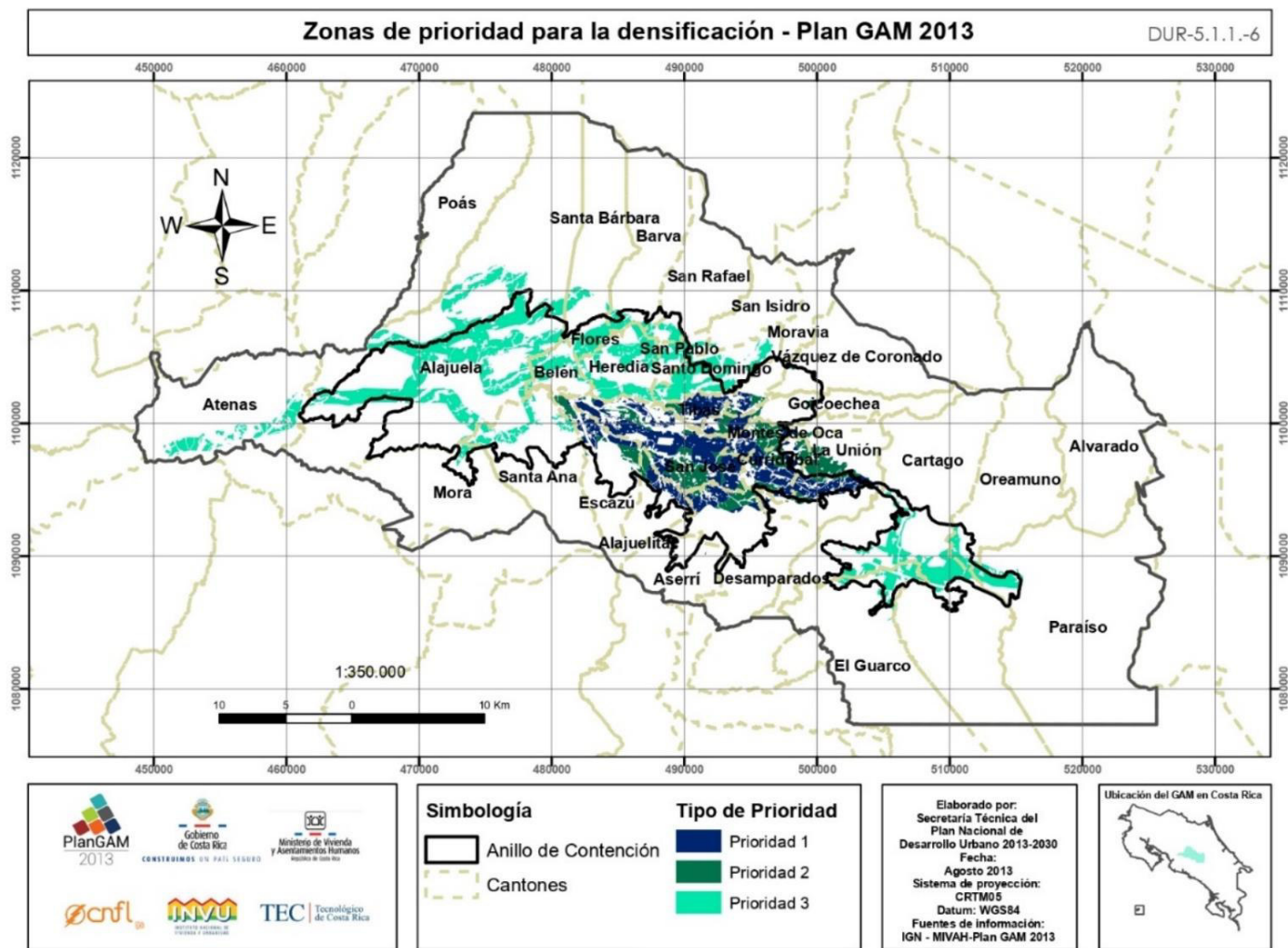


Figura 1. Anillo de contención urbana y zonas de prioridad para la densificación en la GAM

Fuente: Secretaría Técnica del Plan Nacional de Desarrollo Urbano 2013–2030, 2013

### 2.2.2. Ordenamiento territorial en la protección de áreas de recarga de acuíferos

El agua dulce puede encontrarse en distintas formas y lugares, siendo las aguas subterráneas una parte importante del ciclo hidrológico, conformando el 95 por ciento de toda el agua dulce de la Tierra. Si las aguas subterráneas llegan a verse contaminadas o deterioradas por explotación del ser humano, su recuperación en algunos casos se puede volver imposible. (Losilla, 2001, p. 20).

Los acuíferos forman parte importante de las redes de distribución de agua potable para la población, ya que a partir de ellos se extrae el recurso mediante pozos. El Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA, s.f.) define acuífero como “aquel estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas”.

Al tratarse de un proceso de circulación, los acuíferos requieren de una recarga, Fernández y García (2009) definen la recarga de acuíferos como “un proceso mediante el cual se recolectan las aguas superficiales en la zona de saturación de los acuíferos, de manera directa o indirecta, donde las mismas se almacenan” (p. 135).

En cuanto a las principales amenazas que pueden llevar al deterioro y contaminación de las aguas subterráneas en Centroamérica, Losilla (2001, p. 24) menciona las siguientes:

- El crecimiento urbano desordenado sobre las áreas de recarga de los acuíferos que abastecen las principales ciudades de la región, genera lixiviados de desechos sólidos y líquidos de origen doméstico e industrial;

impermeabilización de áreas de recarga y sobreexplotación de acuíferos.

- La contaminación dispersa de agroquímicos utilizados en agricultura intensiva como café, banano, algodón y plantas ornamentales, e impermeabilización de áreas de recarga por cambios de uso de la tierra como la deforestación y la ganadería extensiva.

En el artículo 6 del Reglamento de Fraccionamiento y Urbanizaciones, se define un área urbanizable como “aquella sobre la que no recaen restricciones, apta para el desarrollo de fraccionamientos y urbanizaciones. Comprende según su tipo, áreas de vialidad, lotes, juegos infantiles, parques y facilidades comunales”. En contraparte, las áreas no urbanizables incluyen:

- Reservas establecidas.
- Zonas de amenaza según la Comisión Nacional de Prevención de Riesgo y Atención de Emergencia.
- Servidumbres.
- Alineamientos establecidos por las entidades competentes.

Al respecto, el artículo 33, inciso d, de la Ley Forestal (Ley N° 7575) declara como áreas de protección las áreas de recarga de los acuíferos y los manantiales. En el artículo 2 del Reglamento de la Ley Forestal (Decreto Ejecutivo N° 25721) se definen las áreas de recarga acuífera como “aquellas superficies de terrenos en las cuales ocurre la principal infiltración que alimenta un determinado acuífero”, y su delimitación es establecida por el Ministerio de Ambiente y Energía, en consulta con el Instituto Costarricense de Acueductos y



Alcantarillados, el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento, u otra entidad con competencias en materia de aguas.

Sin embargo, la delimitación de estas áreas de protección por parte de las instituciones correspondientes ha sido muy superficial y no se definen distancias acordes a cada sitio en específico (Arias, 2022, p. 66); la legislación establece un radio mínimo de 100 m para los manantiales y considera como zonas de protección forestal las áreas de recarga de acuíferos (artículo 33 de la Ley Forestal, Ley N° 7575). Debido a la arbitrariedad en la delimitación de estas zonas de protección, estas no son efectivas y más bien generan conflictos por el uso de los terrenos (Arias, 2022, p. 66).

Con respecto a las aguas subterráneas, Arias (2022, p. 30) menciona que en Costa Rica no existe un inventario formal de acuíferos ni un mapa con su ubicación, sino que solamente se han realizado investigaciones puntuales.

### 2.3. Teledetección

En el apartado de la teledetección, se tratarán los conceptos de imágenes satelitales, corrección de imágenes satelitales e índices normalizados, dentro de los cuales se muestra el índice de diferencia normalizada construida y el índice de diferencia normalizada de vegetación.

Chuvienco (2008) define la teledetección como la “técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores aéreos o espaciales” (p. 18) y menciona que “el creciente empleo de distintos sensores de observación terrestre está originando no sólo una enorme cantidad de información, sino también una nueva forma de estudiar la superficie terrestre” (p. 20).

Por ejemplo, con el lanzamiento de la misión LANDSAT 1, cuyo objetivo era obtener información para cartografía, se empezaron a utilizar imágenes satelitales y desde ese entonces su uso e importancia ha crecido al punto de continuar con el lanzamiento de nuevas misiones para mejorar la obtención de datos de la Tierra con la técnica de la teledetección. (Ruiz, 2003, p. 286)

Los satélites dedicados al campo de la teledetección cuentan con una serie de sensores capaces de captar diferentes bandas espectrales, que simbolizan cada uno de los colores dentro del espectro visible y otras longitudes de onda dentro del espectro no visible. Por ejemplo, los satélites de la misión LANDSAT 7 cuentan con 8 bandas espectrales con longitudes de onda que van desde el color violeta, de 0,4  $\mu\text{m}$ , hasta los 14  $\mu\text{m}$  que puede alcanzar el infrarrojo térmico. (Lira, 2011, p. 39)

En el Cuadro 1, se detallan las características que poseen las bandas espectrales de la misión LANDSAT 5, estas características son el nombre y la numeración, la resolución, la longitud de onda y las dimensiones de las imágenes resultantes.

Cuadro 1. Características de las bandas espectrales de los satélites de la misión LANDSAT 5

<b>Bandas espectrales</b>	<b>Resolución (m)</b>	<b>Longitud de Onda (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Tamaño de la imagen (km)</b>
Blue (1)	30	0,45 - 0,52	185 x 185
Green (2)	30	0,53 - 0,60	185 x 185
Red (3)	30	0,63 - 0,69	185 x 185
NIR (4)	30	0,76 - 0,90	185 x 185
SWIR (5)	30	1,55 - 1,75	185 x 185
TIR (6)	120	10,41 - 12,50	185 x 185
SWIR-2 (7)	30	2,08 - 2,35	185 x 185

Fuente: Lira, 2011, p. 39

En el Cuadro 2, se detallan las características que poseen las bandas espectrales de la misión LANDSAT 7, estas características son el nombre y la

numeración, la resolución, la longitud de onda y las dimensiones de las imágenes resultantes.

Cuadro 2. Características de las bandas espectrales de los satélites de la misión LANDSAT 7

<b>Bandas espectrales</b>	<b>Resolución (m)</b>	<b>Longitud de onda (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Tamaño de la imagen (km)</b>
Blue (1)	30	0,45 - 0,52	185 x 185
Green (2)	30	0,53 - 0,60	185 x 185
Red (3)	30	0,63 - 0,69	185 x 185
NIR (4)	30	0,78 - 0,90	185 x 185
SWIR-1 (5)	30	1,55 - 1,75	185 x 185
TIR (6)	60	10,40 - 12,50	185 x 185
SWIR-2 (7)	30	2,09 - 2,35	185 x 185
PAN (8)	15	0,52 - 0,90	185 x 185

Fuente: Lira, 2011, p. 39

En el Cuadro 3, se detallan las características que poseen las bandas espectrales de la misión LANDSAT 8, estas características son el nombre y la numeración, la resolución, la longitud de onda y las dimensiones de las imágenes resultantes.

Cuadro 3. Características de las bandas espectrales de los satélites de la misión LANDSAT 8

<b>Bandas espectrales</b>	<b>Resolución (m)</b>	<b>Longitud de onda (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Tamaño de la imagen (km)</b>
Aerosol (1)	30	0,43 - 0,45	185 x 170
Blue (2)	30	0,45 - 0,51	185 x 170
Green (3)	30	0,53 - 0,59	185 x 170
Red (4)	30	0,64 - 0,67	185 x 170
NIR (5)	30	0,85 - 0,88	185 x 170
SWIR-1 (6)	30	1,57 - 1,65	185 x 170
SWIR-2 (7)	30	2,11 - 2,29	185 x 170
PAN (8)	15	0,50 - 0,68	185 x 170
Cirrus (9)	30	1,36 - 1,38	185 x 170
TIR-1 (10)	100	10,60 - 1,19	185 x 170
TIR 2 (11)	100	11,50 - 12,51	185 x 170

Fuente: Nelson y Khorram, 2018, Adquirir datos de detección remota, párr. 1

Según lo publicado en el sitio web de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, por sus siglas en inglés), cada una de las misiones LANDSAT citadas anteriormente visitan o visitaban un mismo sitio sobre la Tierra cada 16 días y realizan o realizaban una revolución cada 99 minutos. (s.f.)

### 2.3.1. Imágenes satélites

Aguilera y Valencia (2017) mencionan que existen dos tipos de imágenes digitales: la imagen vectorial y la imagen de mapa de bits. Las imágenes digitales de mapa de bits “se componen de un determinado número de unidades llamadas píxeles. Cada píxel tiene asociado un valor de color y de luminosidad” (p. 44).

Para la manipulación de las imágenes digitales, se debe conocer los datos que las componen y que contribuyen a la generación de resultados; Lira (2011, p. 48) se refiere a los píxeles como los encargados de representar, mediante colores, las variaciones en la energía que se capta en un mismo campo instantáneo de vista (CIV).

De igual manera, se puede observar el comportamiento de los píxeles que componen las imágenes digitales a partir de su histograma, el cual es definido por Atienza (s.f., pp. 2-9) como una herramienta útil para editar imágenes, permite determinar si el contraste o la exposición de ilustración digital es adecuado y ofrece información para analizar de mejor manera la luminosidad de una imagen, dado que los instrumentos para visualizar la imagen pueden no ofrecer una visualización acertada.

Con base en la cantidad de píxeles ubicados dentro del rango requerido y tomando en cuenta sus dimensiones, se pueden determinar variables como la cobertura sobre el terreno, ya sea urbana, de vegetación o de agua.

Como menciona la Agencia Espacial Europea (2009), las firmas espectrales permiten establecer una correcta diferenciación entre las distintas superficies que se encuentran en una imagen satelital, como lo pueden ser el

agua, los suelos desnudos o la vegetación, gracias a la radiación reflejada por cada una de ellas en función de la longitud de onda.

### 2.3.2. Corrección de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales presentan errores, debido a que están sometidas a una serie de condiciones que provocan que los datos contenidos en ellas se vean afectados y, por ende, los resultados no sean correctos. Para corregir estos errores, se deben realizar una serie de correcciones a las imágenes satelitales: corrección radiométrica, corrección geométrica y corrección atmosférica; las cuales se definen de la siguiente manera:

La corrección radiométrica trata de corregir problemas mecánicos en el sensor que generan valores erróneos en píxeles concretos y la corrección geométrica ubica los píxeles [sic] en el espacio geográfico corrigiendo las posibles distorsiones. Por su parte la corrección atmosférica trata de evaluar y eliminar las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia que llegan al sensor desde la superficie terrestre.

(Alonso, 2003, p. 86)

### 2.3.3. Índices normalizados

Los índices normalizados o de reflectancia espectral, se definen como “indicadores numéricos que usan longitudes de onda específicas o bandas del espectro electromagnético, para relacionar cuantitativamente los cambios en la reflectancia espectral” (Reynolds, Pask, Mullan y Chavez-Dulanto, 2012, p. 73).

### 2.3.3.1. Índice de diferencia normalizada construida

El índice de diferencia normalizada construida (NDBI, por sus siglas en inglés) se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$NDBI = \frac{SWIR-NIR}{SWIR+NIR} \quad (2)$$

Donde SWIR y NIR representan el infrarrojo de longitud de onda corta y el infrarrojo cercano del espectro, es decir, la banda 6 y la banda 5 de la misión Landsat 8. (Habert y Schlueter, 2016, p. 80)

Según Kumar, Reza, Das y Sankar (2020), el NDBI es “una herramienta útil para identificar el suelo urbano impermeable donde los valores positivos representan las áreas edificadas y los negativos representan la vegetación y la masa de agua” (p. 87).

Acerca de este índice, Pradhan (2017) afirma lo siguiente:

Uno de los índices más importantes para reforzar la información de edificios y extraer terrenos urbanizados de las áreas urbanas (...) es un reflejo del edificio urbano y es más alto en la quinta banda que en la cuarta banda (...) el índice se desarrolló sobre la base de la respuesta espectral única de las tierras edificadas. (p. 326)

### 2.3.3.2. Índice de diferencia normalizada de vegetación

El índice de diferencia normalizada de vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés) se obtiene a partir de la aplicación de la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (3)$$

Este índice utiliza las bandas rojo (R) e infrarrojo cercano (NIR), ofreciendo valores entre -1 y 1 y es el más utilizado en las aplicaciones agronómicas de la teledetección para la identificación de clorofila y biomasa verde. (Meliá, 1991, p. 286)

Meliá (1991) define un índice de vegetación como “combinaciones de bandas espectrales cuya función es la de realzar la contribución de la vegetación en la respuesta espectral de una superficie y atenuar la de otros factores como el suelo, las condiciones de iluminación y la atmósfera” (p. 285).

La presencia de vegetación verde sobre un suelo origina un decrecimiento de la radiancia medida en el rojo, como consecuencia de la absorción por clorofila, y un aumento en el infrarrojo cercano, debido a la estructura de las hojas. (Meliá, 1991, pp. 286-287)

El NDVI es uno de los índices de vegetación más utilizados en el campo de la teledetección y sirve para estimar cantidad, grado de desarrollo y calidad de la vegetación en un determinado territorio. Para valores cercanos a 0,1 se considera que la vegetación se encuentra en estado crítico y para valores de 0,5 o superiores se considera que la vegetación existente es densa y sana. (Sacha, 2010, p. 1098)





## Capítulo III. Metodología

### 3.1. Caracterización de la zona de estudio

La información utilizada para caracterizar la zona de estudio proviene de fuentes distintas, como lo son el SNIT, el Atlas de Costa Rica del año 2014, la Municipalidad de San Rafael, el INEC, el OIJ, el SENARA, y el MIVAH. Esta diversidad de fuentes se traduce en diversidad de formatos y fechas de origen, por lo que se procedió a transformar la información que lo requería hacia la proyección CRTM05 y al formato shapefile empleado en SIG, con el fin de uniformar y optimizar el análisis de la información y su posterior representación gráfica por medio de mapas.

#### 3.1.1. Definición de parámetros geográficos

Con base en los datos espaciales recopilados en el Atlas de Costa Rica del año 2014 y las bases de datos de Ministerio de Educación Pública (MEP), así como las visitas de campo realizadas, se georreferenciaron los distritos, los poblados, los centros educativos y de salud, tanto públicos como privados, y los proyectos urbanísticos que se ubican dentro del cantón de San Rafael de la provincia de Heredia, para su representación cartográfica y el posterior análisis de distribución espacial.

#### 3.1.2. Definición de parámetros demográficos

A partir del análisis de la información de las unidades geoestadísticas mínimas (UGM) presentes en el cantón, se extrajo la información concerniente a la cantidad de habitantes y la cantidad de viviendas, para la determinación de la densidad poblacional y la densidad habitacional. La densidad poblacional es el

parámetro que muestra qué tan agrupada está una población, al indicar la cantidad de habitantes que viven en una determinada área, sea esta medida en hectáreas o kilómetros cuadrados; de la misma manera, la densidad habitacional indica la cantidad de viviendas que hay en un área determinada.

Además, a partir de los datos de necesidades básicas insatisfechas (NBI), se extrajo la cantidad de habitantes que presentan una, dos, tres o cuatro carencias, con el fin de representar espacialmente estos datos y observar las zonas en donde se focalizan los grupos poblacionales con mayor cantidad de necesidades básicas insatisfechas.

### 3.1.3. Definición de parámetros socioeconómicos

La caracterización socioeconómica del cantón se sustenta en una investigación del mercado de venta de bienes inmuebles y en el análisis de los datos criminalísticos registrados por el OIJ. Como parte de la investigación de mercado, se realizaron visitas de campo y se recopilaron anuncios en internet acerca de propiedades en venta en cada una de las zonas homogéneas delimitadas por el Ministerio de Hacienda, las cuales se tomaron como base para la posterior elaboración de un mapa con valores de mercado. En cuanto al análisis de los datos de criminalidad, se trabajó con los datos disponibles para ordenarlos de acuerdo al tipo de crimen y su ubicación por distrito.

### 3.1.4. Definición de parámetros físicos

La caracterización física del cantón de San Rafael constituye un análisis de la topografía de la zona en función del porcentaje de pendiente. Para este análisis, se tomaron como base las curvas de nivel a cada 10 metros, disponibles en el SNIT, a partir de las cuales se obtuvo el modelo digital de elevación (DEM,

por sus siglas en inglés), el cual permite el cálculo de pendientes. En el Cuadro 4 se muestran los intervalos de pendiente utilizados y el tipo de terreno que representan, estos valores se proponen específicamente para los fines de esta investigación, donde lo que se buscaba era identificar las zonas con pendiente menor al 15%

Cuadro 4. Tipos de terreno según el porcentaje de pendiente

<b>Intervalo</b>	<b>Tipo de terreno</b>
0% - 5%	Plano
5% - 15%	Ondulado
15% - 30%	Fuertemente ondulado
30% - 75%	Escarpado
75% <	Fuertemente escarpado

### 3.1.5. Definición de parámetros ambientales

En cuanto a la caracterización en términos ambientales del cantón de San Rafael, se ubicaron las zonas de importancia hídrica y las áreas silvestres protegidas, con base en la información suministrada por la Municipalidad de San Rafael, la presente en las bases de datos del SNIT y los mapas elaborados por el MIVAH. Este proceso incluyó la georreferenciación de ríos y quebradas, zonas de recarga hídrica, pozos y manantiales, además de la identificación de las subcuencas, acuíferos, zonas de vida y áreas silvestres protegidas que se encuentran en el cantón de San Rafael.

### 3.2. Determinación de cobertura urbana y cobertura vegetal

Para la determinación de las áreas con cobertura urbana y las áreas con cobertura vegetal en el cantón de San Rafael, se establecieron puntos guía en el sitio web *EarthExplorer* del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por

sus siglas en inglés) con el fin de ubicar el conjunto de bandas espectrales de interés, así como la misión Landsat de la cual se desea obtener las imágenes satelitales para cada año requerido, siendo Landsat 5 la misión correspondiente a las imágenes satelitales de los años 1990 y 1995, la misión Landsat 7 para los años 2000, 2005 y 2010, y la misión Landsat 8 para los años 2015 y 2020.

Las imágenes fueron tomadas de la colección 2 del nivel 1, en el sitio web del USGS. Por este motivo, solamente fue necesario realizar la corrección atmosférica y la corrección de nubosidad para la eliminación de nubes y sombras presentes en el área de estudio, ya que las imágenes de esta colección han sido previamente corregidas geométrica y radiométricamente.

La corrección atmosférica se realizó en el software QGIS, por medio del complemento de clasificación semiautomática (SCP, por sus siglas en inglés) y con los metadatos en formato de texto proporcionados por los satélites para cada una de las fechas seleccionadas. Es necesario que las bandas espectrales no hayan sido modificadas antes de realizar esta corrección.

Considerando que la dispersión atmosférica crea valores falsos en los histogramas de las imágenes, se aplicó la corrección atmosférica denominada sustracción de objeto oscuro (DOS, por sus siglas en inglés), la cual estima el efecto de esta dispersión y lo reduce al sustraerlo de las imágenes. (Morán, 2014).

Se procedió luego a eliminar las nubes presentes en cada una de las bandas espectrales por utilizar, utilizando el complemento *Cloud Masking*. Inicialmente, se trabajó de nuevo con los metadatos del conjunto de bandas espectrales para crear una imagen en color natural que ofreciese una vista previa

de la zona de estudio para cada año seleccionado y así visualizar con mayor claridad las zonas con presencia de nubes.

Seguidamente, con la función *Fmask*, se ejecutaron diversas combinaciones de parámetros en búsqueda de la que cubriese mejor las nubes y sombras presentes en el área de estudio. Los parámetros utilizados son:

- ***CloudProbThresh***: determina la intensidad de búsqueda de nubes y sombras en la imagen. El grado de búsqueda va desde el valor de 0,0 hasta 1,0 y los valores utilizados variaron entre 0,0 y 0,2.
- ***CloudBuffer***: a partir de las nubes detectadas por el primer parámetro, determina el *buffer* de pixeles vecinos que se le agregarán con presencia de nubes. El buffer abarca desde los 0 pixeles hasta los 30 pixeles y los valores utilizados variaron entre 0 y 7 pixeles.
- ***ShadowBuffer***: define el *buffer* de pixeles vecinos que se le sumarán a los detectados con presencia de nubes en primera instancia y se categorizan como pixeles con presencia de sombras. El buffer abarca desde los 0 pixeles hasta los 30 pixeles y los valores utilizados variaron entre 0 y 4 pixeles.

Para optimizar el posterior tiempo de procesamiento, a partir de este paso solo se trabajó con las bandas espectrales requeridas para la aplicación de los índices NDVI y NDBI, que son RED, NIR y SWIR, a las cuales se les aplicaron las máscaras de nubes y sombras obtenidas, ya que, de no eliminarse las nubes y sombras presentes en las imágenes, la aplicación de los índices generará resultados incorrectos, confundiendo las nubes con área de suelo desnudo o con cobertura urbana, por ejemplo.

Debido a que las nubes detectadas se ubican sobre las zonas montañosas al norte del cantón, el área que cubren se consideró como de cobertura vegetal, en adición a los resultados de los procedimientos siguientes.

Seguidamente, las bandas espectrales fueron re proyectadas hacia CRTM05, con el fin de incluirlas en un SIG y poder recortarlas de acuerdo con la delimitación del cantón de San Rafael.

Finalmente, se procedió a calcular los índices fotogramétricos para obtener el área de cobertura urbana y el área de cobertura vegetal en el cantón de San Rafael de la provincia de Heredia, para cada uno de los años seleccionados.

#### 3.2.1. Cobertura urbana

Después de calcular el NDBI por medio de la Ecuación (2), en cada imagen se identificaron las áreas con un valor mayor o igual a 0, correspondientes a los valores teóricos que resultan de la presencia de edificaciones. Para cada uno de los años estudiados entre 1990 y 2020 se compararon los datos obtenidos contra las imágenes en color verdadero, con la finalidad de verificar si los resultados se ajustan a la realidad y proceder con su tabulación y representación cartográfica.

#### 3.2.2. Cobertura vegetal

Con el cálculo del NDVI mediante la Ecuación (3), en cada imagen se identificaron las áreas con un valor mayor o igual a 0,5, correspondientes a los valores teóricos que resultan de la presencia de vegetación densa y saludable.

A estos resultados se agregaron las áreas de las máscaras de nubes previamente obtenidas para cada año, habiendo identificado que se ubican sobre

las zonas montañosas del cantón, de cobertura vegetal densa, para su tabulación y representación cartográfica. Al igual que con el NDBI, se compararon los resultados obtenidos contra las imágenes en color verdadero del año correspondiente, como comprobación.

### 3.3. Verificación de la existencia de fragmentación urbana

Antes de analizar los posibles factores que incidieron en la fragmentación urbana en el cantón de San Rafael, es necesario validar que este proceso ha ocurrido en el periodo de estudio. El análisis de la fragmentación urbana se realizó tomando como referencia la metodología aplicada por Contreras et al. (2018) en la zona de Zinacantepec, en México.

Para el caso del cantón de San Rafael, se dividió el territorio en dos zonas, teniendo en cuenta el área que se encuentra en el interior del anillo de contención urbana de la GAM y el área que se encuentra fuera de él, que pueden categorizarse en términos generales como zona urbana y zona rural, respectivamente, y se denominarán zona 1 y zona 2. En cada zona se analizaron tres variables:

- La agrupación de viviendas.
- El acceso a servicios básicos y equipamiento.
- El sistema vial.

Estas variables se analizaron en el periodo que va de 1990 hasta 2019, en intervalos de 10 años, considerando la situación dentro y fuera de los condominios existentes en el cantón.

Este análisis se llevó a cabo a partir de la información recopilada para la caracterización de la zona de estudio, las imágenes en color verdadero realizadas para corroborar las cobertura urbana y cobertura vegetal, las imágenes satelitales disponibles en Google Earth y la propuesta de plan regulador urbano del cantón de San Rafael del año 2005. Con esto, se determinó el comportamiento del desarrollo urbanístico y del estado de las vías de comunicación, complementados con una investigación acerca del desarrollo histórico de la disponibilidad de servicios, zonas de verdes y zonas de esparcimiento.

Además, la información recopilada se analizó de forma conjunta con los nuevos insumos generados. Por ejemplo, mediante los resultados de la aplicación del NDVI y la ubicación de los proyectos urbanísticos realizados en fecha posterior a 1990, se obtuvo una representación gráfica de las áreas con presencia de vegetación densa que han ido siendo ocupadas por nuevos proyectos urbanísticos, asociadas a resultados numéricos con su respectivo porcentaje de ocupación.

### 3.4. Determinación de los factores incidentes en el fenómeno de la fragmentación urbana

Para determinar los factores incidentes en el fenómeno de la fragmentación urbana se continuó utilizando la división en dos zonas: una zona mayormente urbana (que se denominará zona 1), la cual incluye los distritos que se encuentran dentro del anillo de contención urbana de la GAM, y una zona de carácter más rural (que se denominará zona 2), la cual incluye los restantes distritos ubicados fuera del anillo.



Se analizaron los siguientes factores en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1):

- Valor del terreno.
- Inseguridad ciudadana.
- Aprovechamiento de los espacios.
- Tamaño de los condominios y continuidad vial.
- Equipamiento urbano.

Se analizaron los siguientes factores en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2):

- Valor del terreno.
- Inseguridad ciudadana.
- Cumplimiento de la normativa urbana.
- Tamaño de los condominios y continuidad vial.
- Equipamiento urbano.

En cuanto al valor del terreno, se realizó un análisis de la variación en el precio de venta del terreno en las zonas en las que se desarrollaron condominios, a partir del mapa de valores del terreno elaborado con el valor de mercado correspondiente al año 2021 y los mapas de zonas homogéneas de los años 2008 y 2015, traídos a valor presente con ayuda del índice de precios al consumidor. El cálculo del valor presente establece el medio de comparación para identificar la incidencia de los proyectos urbanísticos en el comportamiento de dichos valores, además de determinar si el terreno donde se construyeron estos proyectos tenía un valor significativamente menor al actual, que propiciara

el desarrollo residencial en zonas indebidas, aun cuando las zonas urbanas no han sido densificadas.

En lo que respecta a la inseguridad ciudadana, se representaron de manera gráfica los datos de criminalidad correspondientes a los años 2010, 2015 y 2019, y se realizaron mapas de calor de delitos para comparar el antes y después del desarrollo de nuevos condominios, en busca de correlaciones que se asocien con lo que argumenta la teoría acerca del desarrollo de comunidades cerradas y la inseguridad en los barrios circundantes.

El factor de aprovechamiento de los espacios se vincula a la normativa urbana y su aplicación, por lo que se tomó en cuenta la normativa de desarrollo urbano en conjunto con los mapas de pendientes, hidrología y coberturas, en búsqueda de espacios disponibles dentro del anillo de contención urbana de la GAM que cuenten con las condiciones adecuadas para la densificación del espacio urbano (espacios con potencial de desarrollo), además de identificar la presencia de condominios fuera del anillo.

Con respecto al cumplimiento de la normativa urbana, se parte de la delimitación del anillo de contención urbana, establecido en el Plan GAM para definir lineamientos acerca de los proyectos que son o no permitidos tanto dentro como fuera de él, los cuales deben ser apoyados por la reglamentación de los gobiernos locales. Además, se consideró lo descrito en la Ley Forestal acerca del área de protección de cuerpos de agua y zonas de recarga de acuíferos, así como la importancia de la continuidad vial y la incidencia de la falta de normativa aplicada a la realidad del cantón.

Habiendo confirmado la existencia de fragmentación urbana en San Rafael, asociada al desarrollo de comunidades cerradas bajo la figura de condominio, se utilizó el mapa de proyectos urbanísticos y la información de cada uno de ellos para determinar si la misma proliferación de condominios a lo largo del intervalo de estudio se convierte en factor al propiciar un círculo vicioso que incentiva la construcción de más proyectos de este tipo. En este aspecto, se toman en cuenta parámetros como el área que abarca cada proyecto, la limitación que generan a la continuidad vial, la dispersión de la población y el agrupamiento de dos o más comunidades cerradas.

La georreferenciación de los espacios públicos destinados al esparcimiento recreativo y deportivo de la población, permite determinar si los mismos son capaces de cubrir las necesidades de la población del cantón y no solo en los principales centros urbanos. A manera de comparación, se identificaron las condiciones que ofrecen algunos condominios en la zona. Además, se realizó un análisis de los servicios básicos disponibles para los habitantes del cantón.

La Figura 2 muestra el flujo de trabajo mediante el cual se desarrolló la investigación, partiendo de la caracterización de la zona de estudio, luego se cuantificó el área correspondiente a la cobertura urbana y la cobertura vegetal entre 1990 y 2019 y, con apoyo de los datos recolectados hasta este punto, se determinó la existencia o no de fragmentación urbana en la zona de estudio, para finalmente señalar los factores que incidieron en la fragmentación urbana en el cantón de San Rafael.

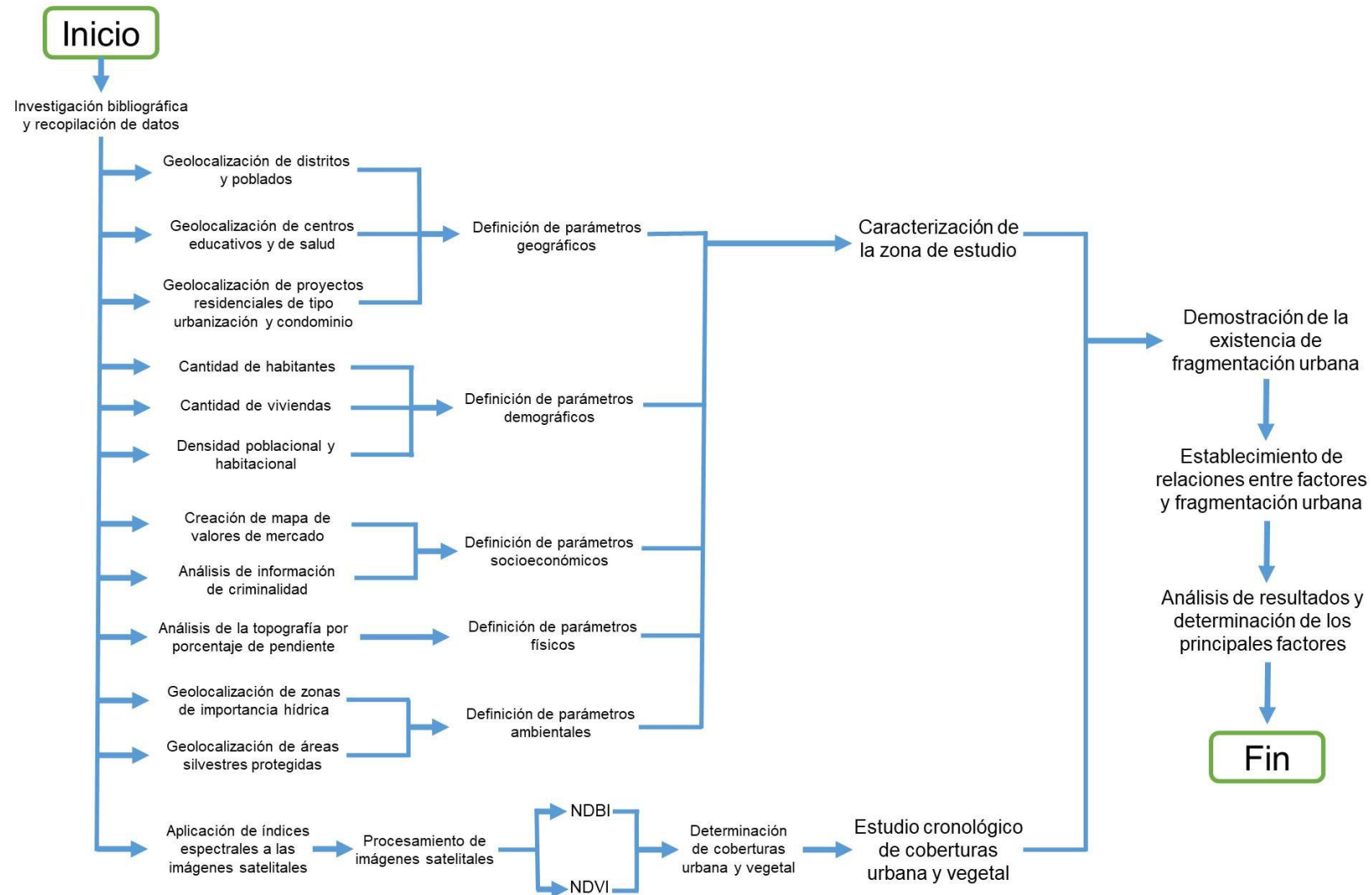


Figura 2. Diagrama de flujo del trabajo de investigación

## Capítulo IV. Análisis de resultados

### 4.1. Caracterización de la zona de estudio

#### 4.1.1. Parámetros geográficos

El cantón de San Rafael abarca un total de 48,33 km<sup>2</sup> y está conformado por 5 distritos, cuya extensión se presenta en el Cuadro 5. La ubicación de cada distrito se muestra en la Figura 3, donde también se presenta la red vial del cantón, compuesta por vías nacionales, vías cantonales y caminos vecinales.

Cuadro 5. División administrativa del cantón de San Rafael

<b>Distrito</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
San Rafael	1,34
San Josecito	1,35
Santiago	1,57
Ángeles	21,25
Concepción	22,82

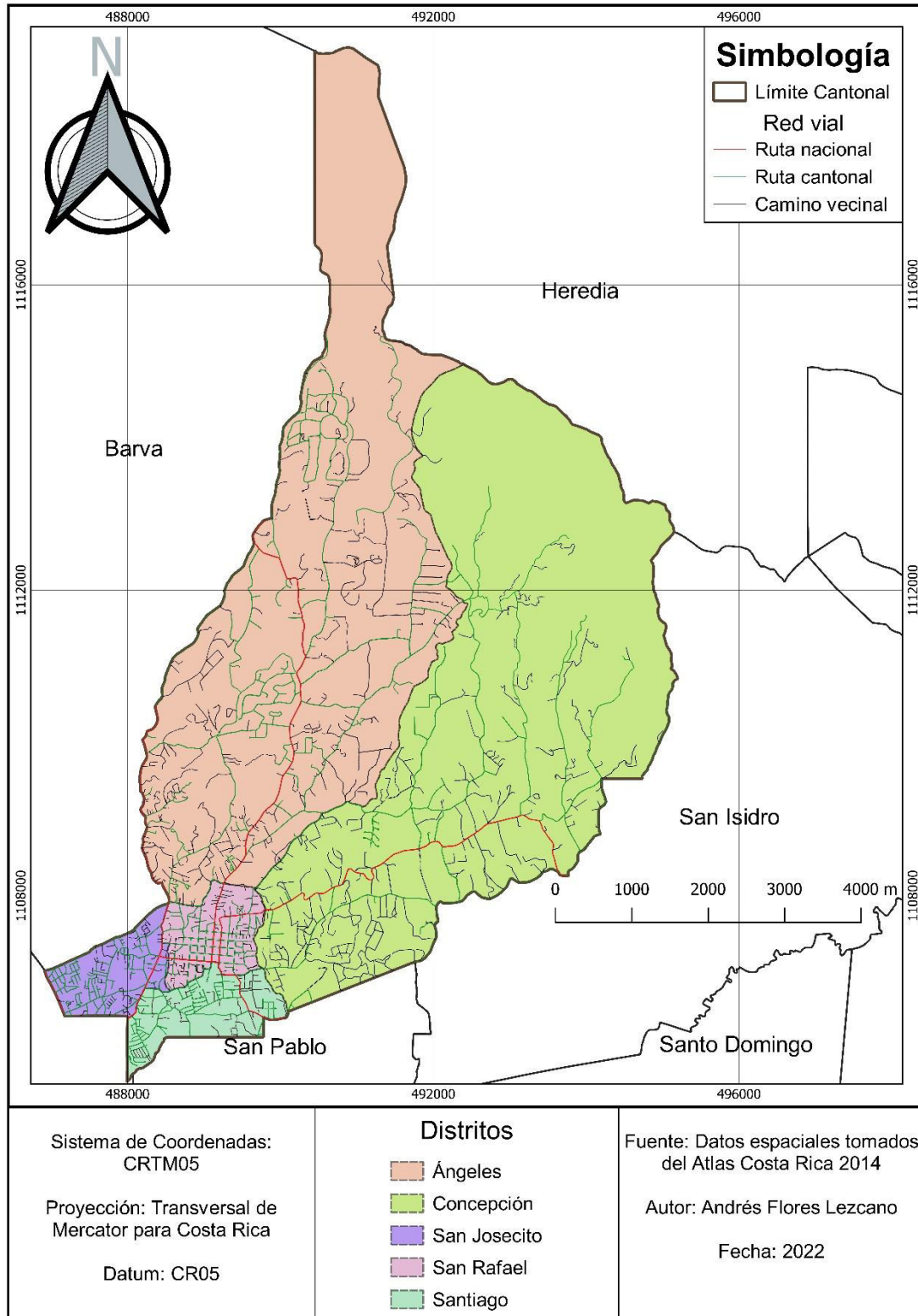


Figura 3. División administrativa y red vial del cantón de San Rafael

En cuanto a la cantidad de centros educativos ubicados en el cantón de San Rafael y el tipo de educación que ofrecen, se tomaron en cuenta aquellos

que se encuentran adscritos a las direcciones regionales educativas del MEP, obteniendo los resultados mostrados en el Cuadro 6. La ubicación de estos centros educativos se presenta en la Figura 4, donde también se identifican los centros poblacionales más importantes.

Cuadro 6. Centros educativos ubicados en el cantón de San Rafael

<b>Oferta educativa</b>	<b>Público</b>	<b>Privado</b>	<b>Total</b>
Preescolar	1	3	4
Escuela	12	1	13
Especial	1	-	1
Colegio	1	1	2
Escuela-Colegio	-	2	2
Universidad	-	1	1

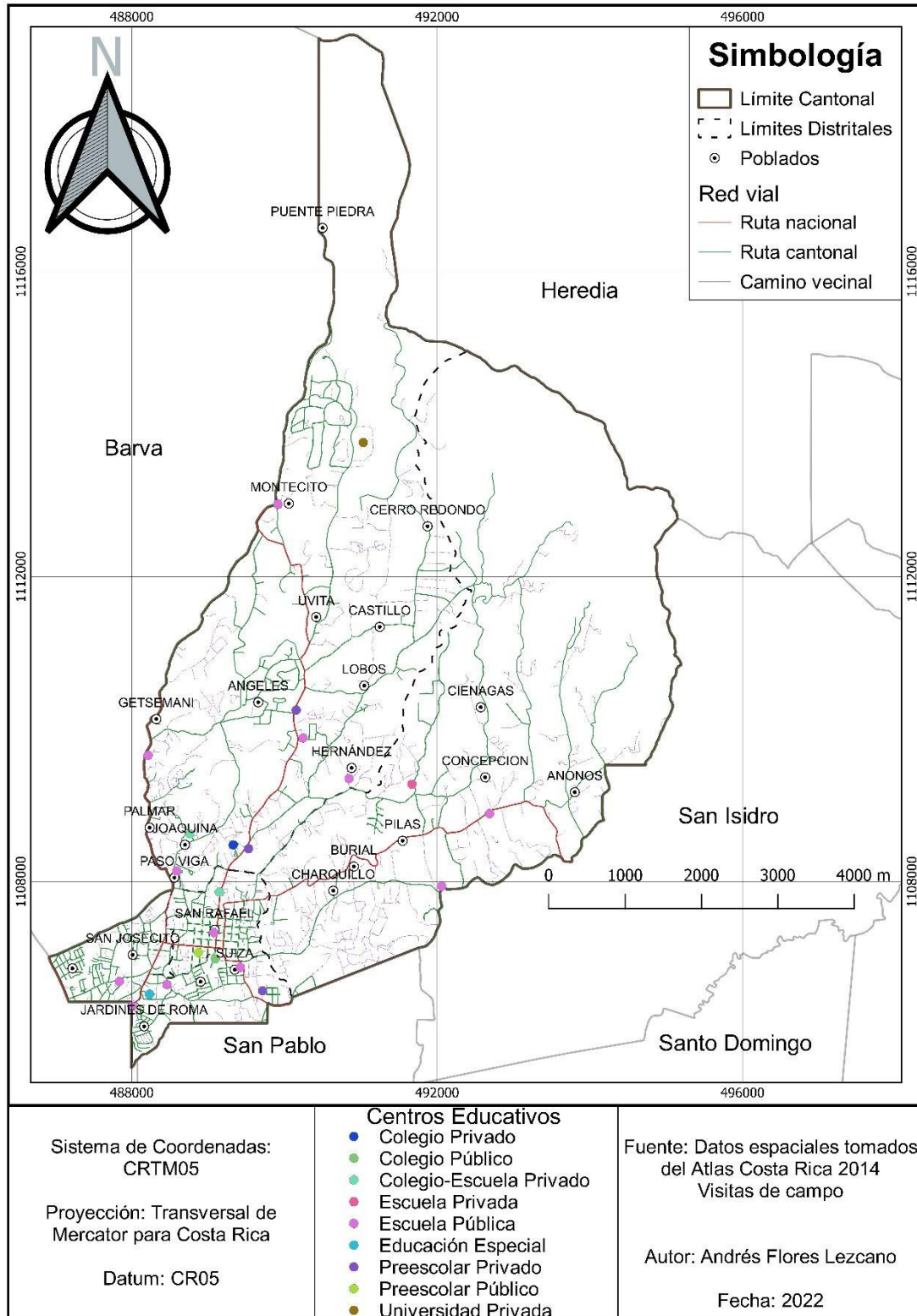


Figura 4. Centros educativos y principales poblados del cantón de San Rafael

En materia de centros de salud ubicados en el cantón de San Rafael, la información disponible en el Atlas de Costa Rica del año 2014 se complementó



con búsquedas en Google Maps y visitas de campo, con el fin de tener datos actualizados.

El centro de atención médica de mayor tamaño es la Clínica San Rafael de Heredia, ubicada en el distrito de San Rafael, además de los dos EBAIS que se ubican en los distritos de Concepción y Ángeles. Adicionalmente, se logró identificar una serie de consultorios de atención privada, que en su mayoría son centros de atención en especialidades dentales, psicológicas y medicina general.

Como último parámetro geográfico, por medio de las visitas de campo efectuadas en la zona de estudio se identificaron y georreferenciaron los proyectos urbanísticos ubicados en el cantón de San Rafael, construidos antes y después de 1990. En la Figura 5 se muestra la ubicación de estos proyectos, clasificados por tipo de proyecto, y el anillo de contención urbana de la GAM como insumo de análisis complementario. En el Cuadro 7 se resumen los desarrollos urbanísticos identificados en cada distrito.

Cuadro 7. Proyectos urbanísticos ubicados en el cantón de San Rafael, según el tipo de proyecto

<b>Distrito</b>	<b>Condominio de tipo residencial</b>	<b>Urbanización</b>	<b>Total</b>
San Rafael	2	5	7
San Josecito	5	10	15
Santiago	6	5	11
Ángeles	3	7	10
Concepción	2	5	7
Total	18	32	50

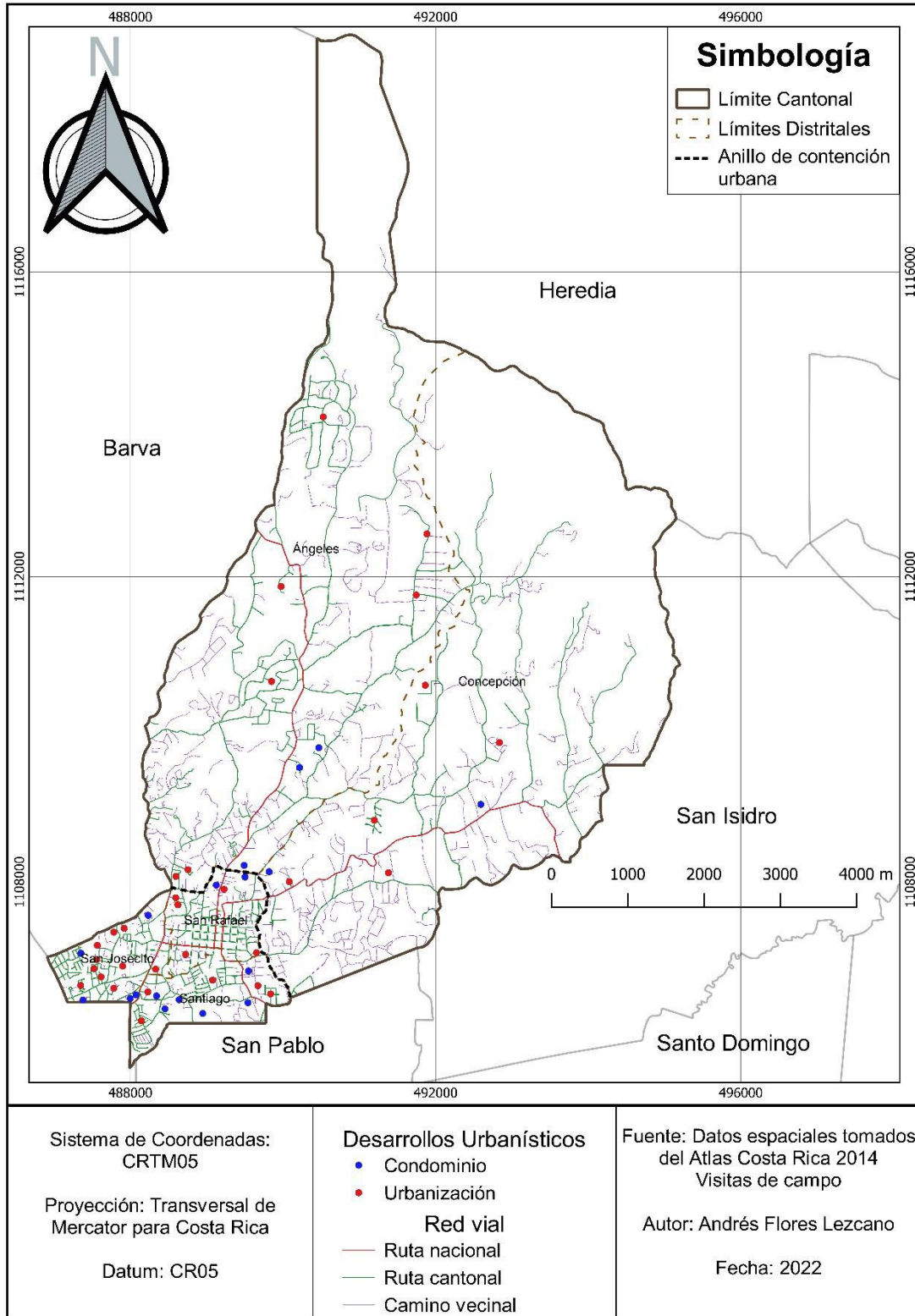


Figura 5. Desarrollos urbanísticos en el cantón de San Rafael

#### 4.1.2. Parámetros demográficos

En la parte sur del cantón de San Rafael se ubican los tres distritos con mayor desarrollo urbano y por ende mayor ocupación de habitantes, mientras que los ubicados en la parte norte poseen grandes extensiones de terreno rural y montañoso. En el Cuadro 8 se muestra el resumen de los datos demográficos del cantón de San Rafael para el año 2011 y en el Cuadro 9 se presentan las proyecciones demográficas para el año 2019, según el Censo 2011 del INEC.

Cuadro 8. Datos demográficos del cantón de San Rafael en el año 2011, por distrito

<b>Distrito</b>	<b>Total de habitantes</b>	<b>Total de viviendas</b>	<b>Densidad poblacional (hab/ha)</b>	<b>Densidad habitacional (viv/ha)</b>
San Rafael	9668	2803	72,42	21,00
San Josecito	11579	3339	85,91	24,77
Santiago	8409	2402	53,48	15,28
Ángeles	10000	2887	4,71	1,36
Concepción	6309	1806	2,76	0,79
Total	45965	13237	9,51	2,74

Cuadro 9. Proyecciones demográficas para el año 2019 en el cantón de San Rafael, por distrito

<b>Distrito</b>	<b>Total de habitantes</b>	<b>Densidad poblacional (hab/ha)</b>
San Rafael	10645	79,44
San Josecito	13770	102,00
Santiago	10103	64,35
Ángeles	12509	5,88
Concepción	7560	3,31
Total	54587	11,29

En la Figura 6 se muestra la distribución espacial de los habitantes del cantón de San Rafael para el año 2011, en función de la delimitación de las UGM establecida por el INEC para el Censo 2011, mientras que en la Figura 7 se

presenta la densidad poblacional correspondiente. De la misma forma, en la Figura 8 se muestra la distribución espacial de las viviendas existentes para el año 2011 en el cantón de San Rafael y en la Figura 9 la densidad habitacional correspondiente. En todos los casos se establecieron 5 categorías en función de rangos o intervalos.

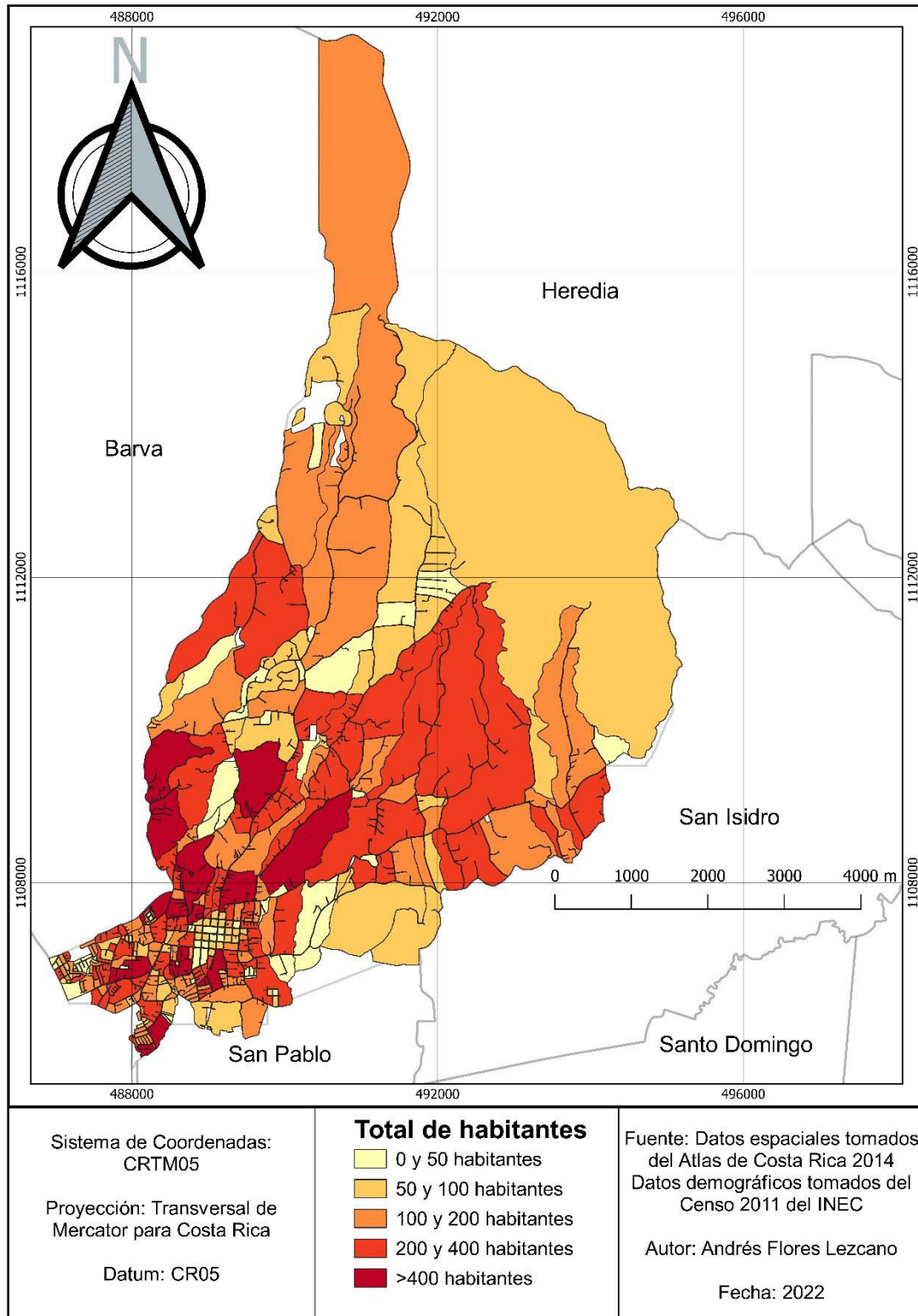


Figura 6. Distribución espacial de habitantes en el cantón de San Rafael, por UGM

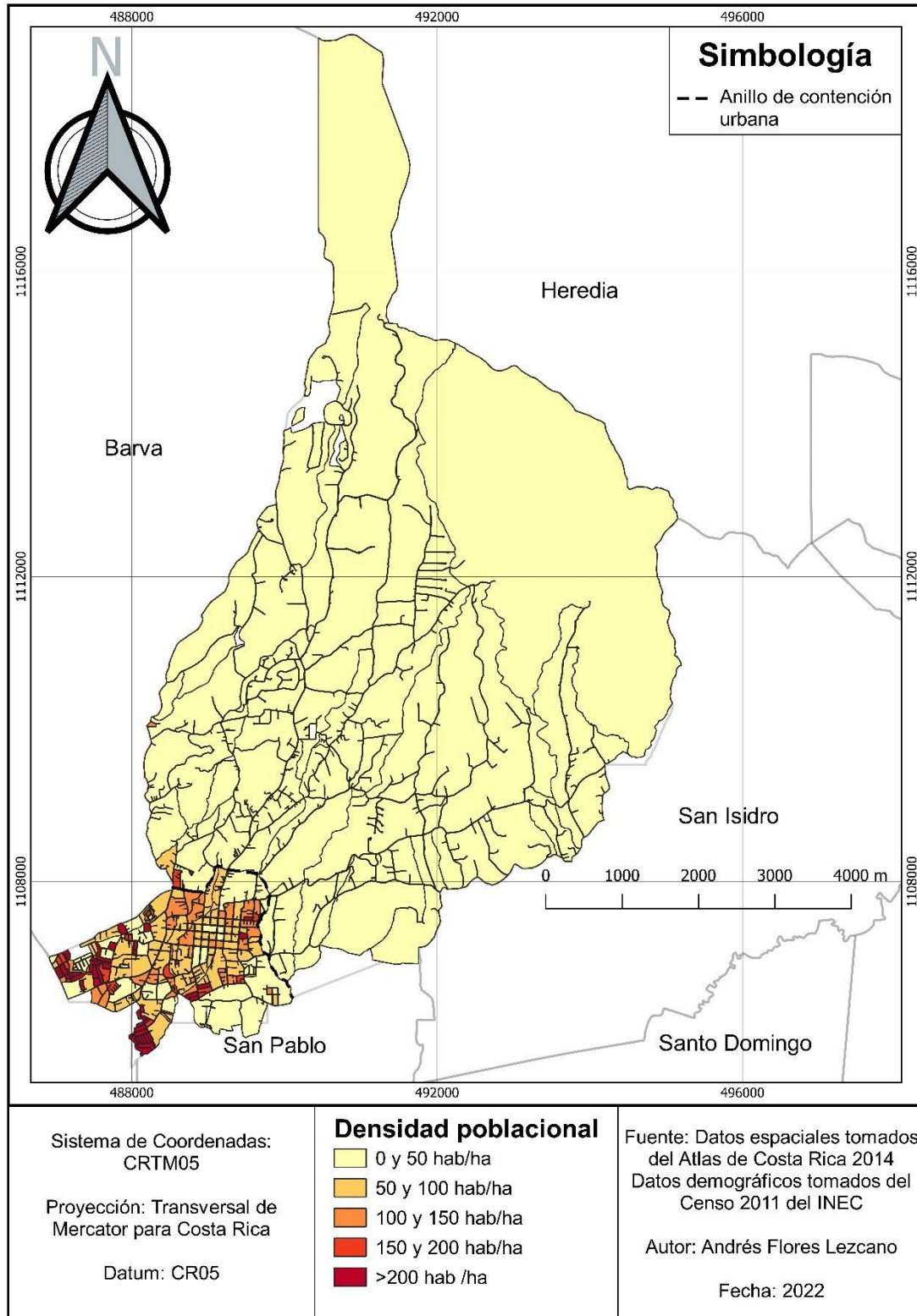


Figura 7. Densidad poblacional en el cantón de San Rafael, por UGM

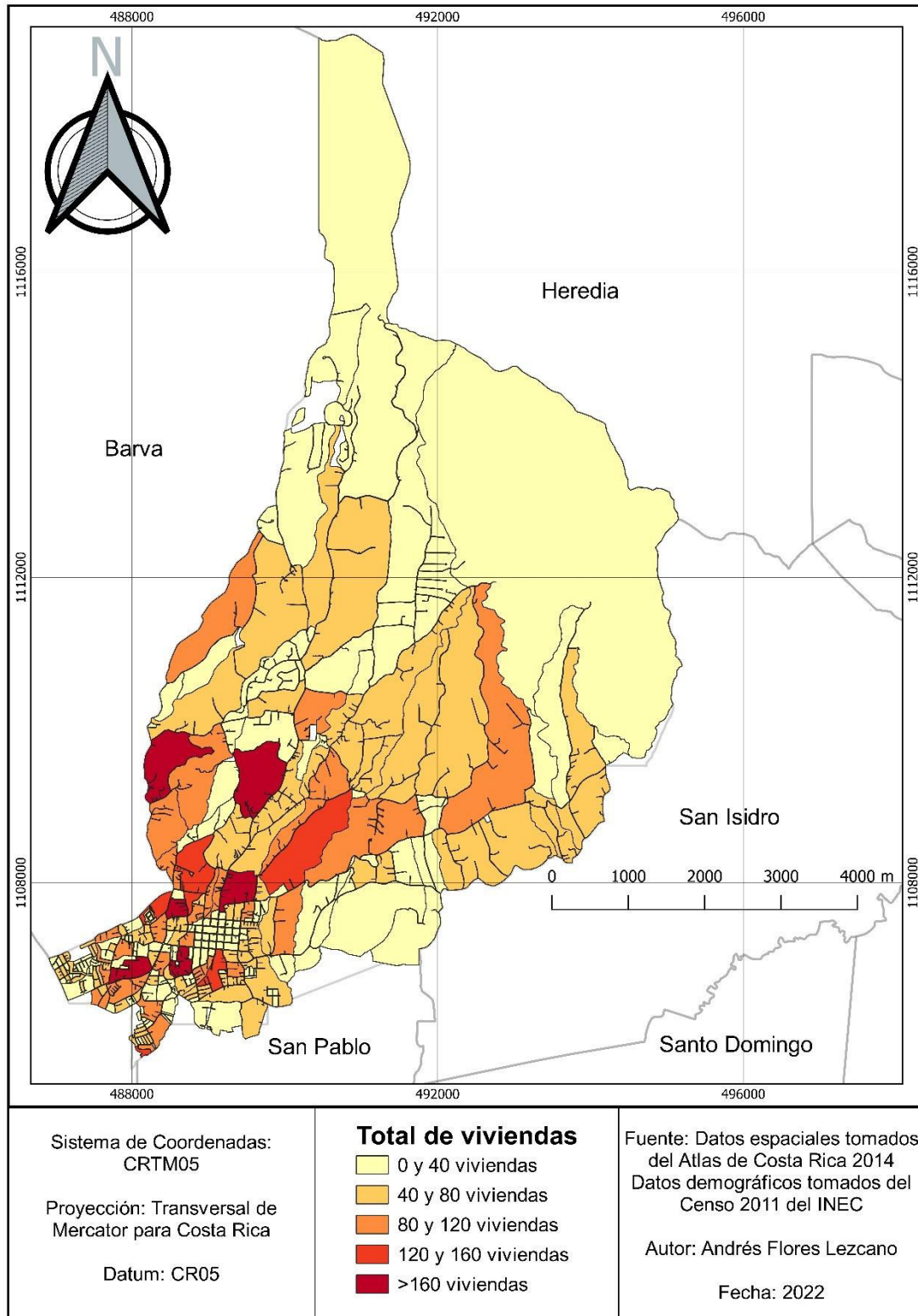


Figura 8. Distribución espacial de viviendas en el cantón de San Rafael, por UGM



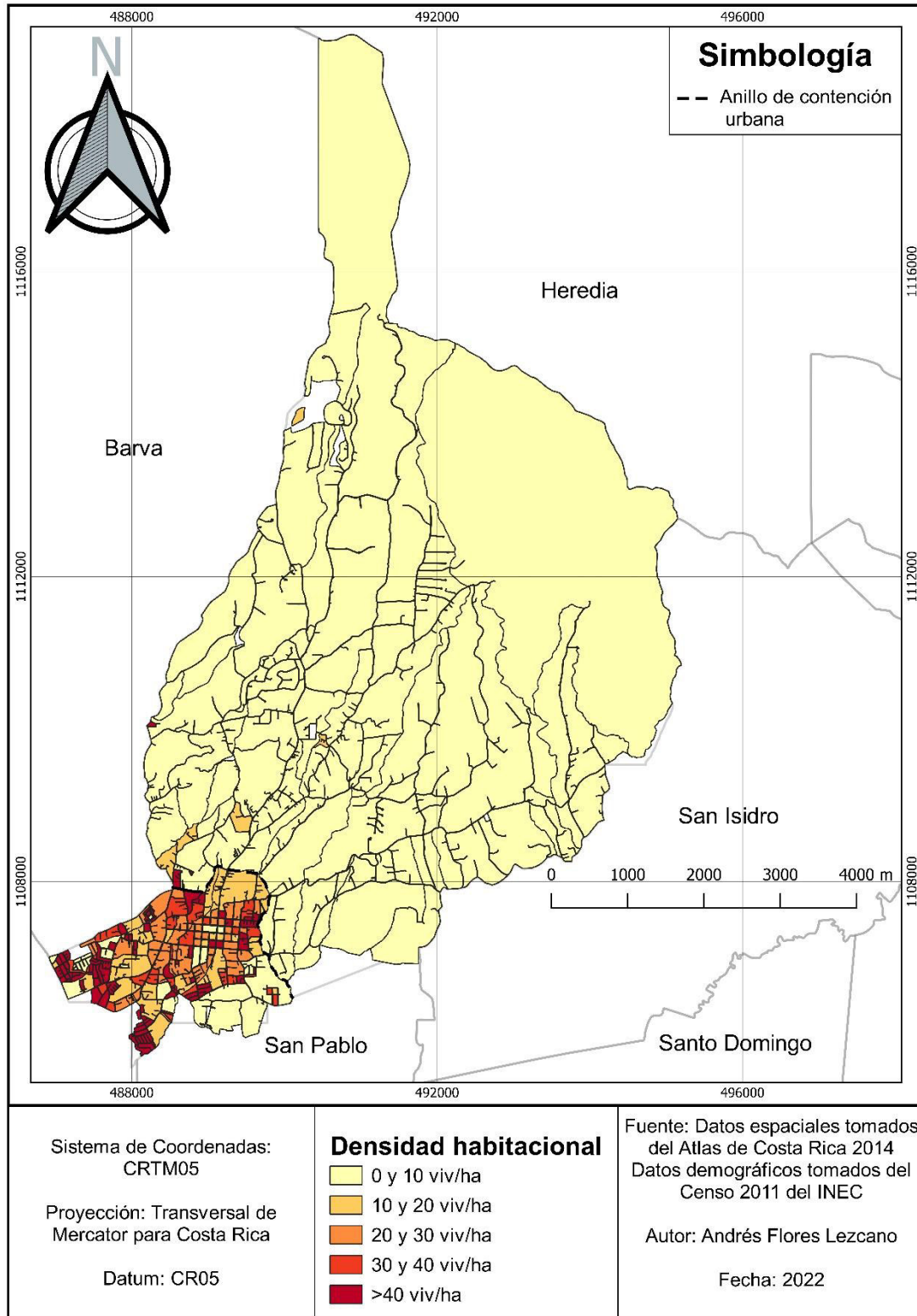


Figura 9. Densidad habitacional en el cantón de San Rafael, por UGM

Algunos habitantes del cantón de San Rafael tenían, al momento de realizarse el Censo 2011, al menos una necesidad básica insatisfecha (NBI). De



acuerdo con el INEC, estas necesidades básicas son: vivienda, acceso a vida saludable, acceso a educación y acceso a servicios básicos. En el Cuadro 10 se detalla la información referente a la población del cantón con una o más NBI, categorizada por distrito, según las UGM pertenecientes a cada uno.

Cuadro 10. Cantidad de habitantes con NBI en el cantón de San Rafael, según cantidad de NBI y distrito

<b>Distrito</b>	<b>Habitantes con 1 NBI</b>	<b>Habitantes con 2 NBI</b>	<b>Habitantes con 3 NBI</b>	<b>Habitantes con 4 NBI</b>	<b>Habitantes con al menos 1 NBI</b>
San Rafael	1063	148	8	0	1219
San Josecito	1532	247	17	0	1796
Santiago	1247	165	1	7	1420
Ángeles	1300	297	32	4	1633
Concepción	1048	133	33	0	1214
<b>Total</b>	<b>6190</b>	<b>990</b>	<b>91</b>	<b>11</b>	<b>7282</b>

La distribución espacial de la población con una, dos, tres y cuatro NBI se muestra en las siguientes figuras, según el porcentaje de población en cada UGM.

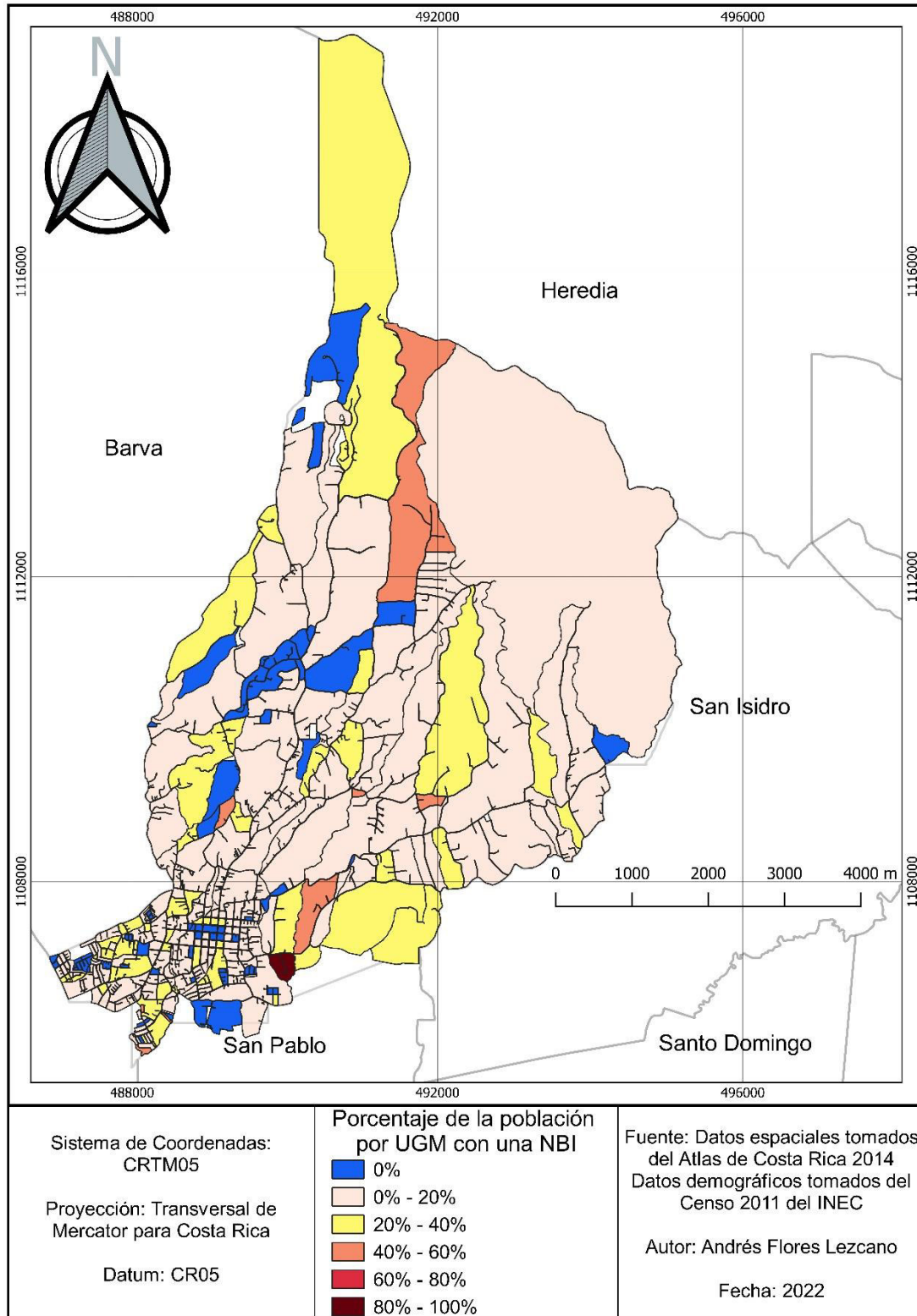


Figura 10. Distribución espacial de la población con una NBI en el cantón de San Rafael, según el porcentaje de población por UGM

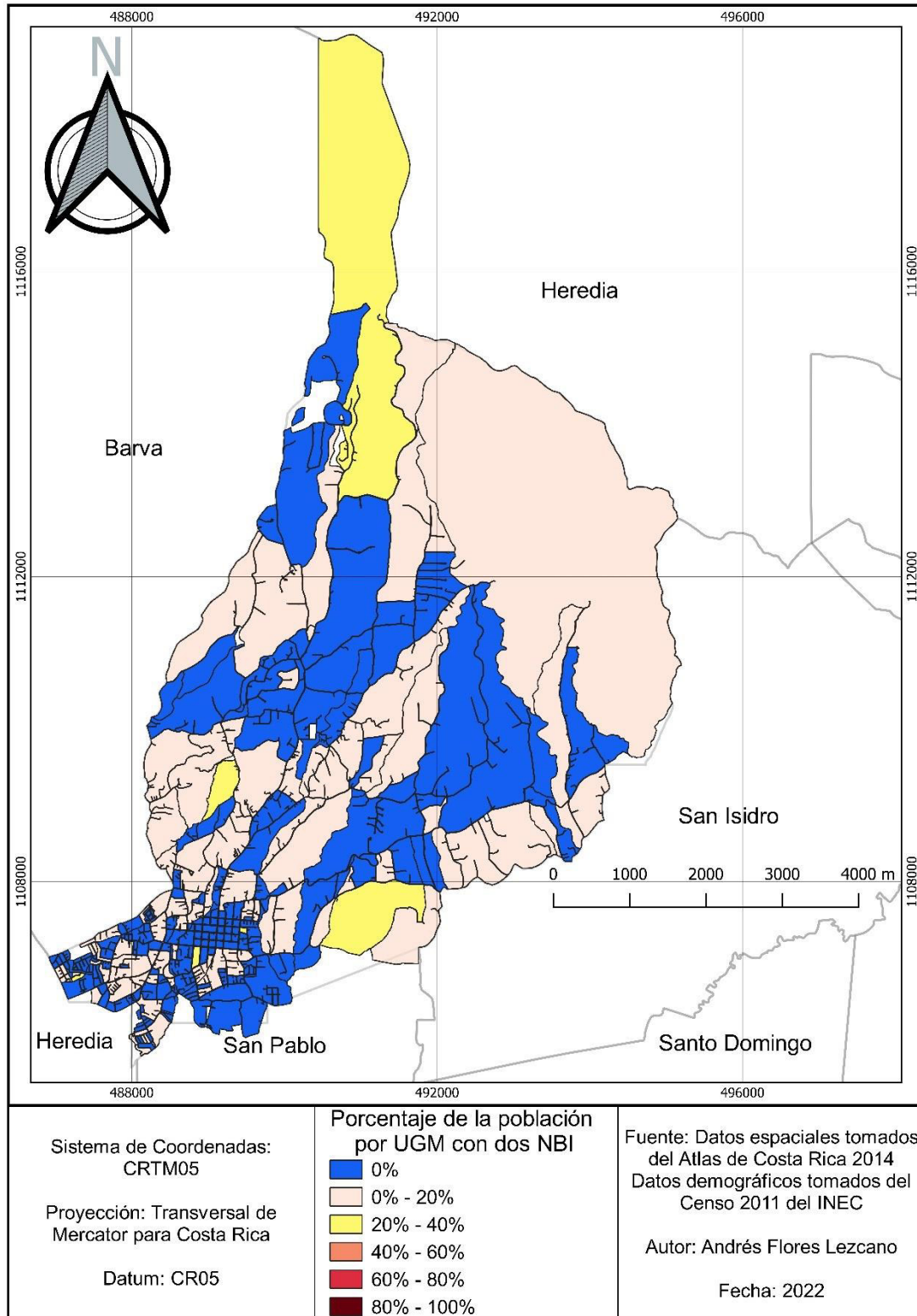


Figura 11. Distribución espacial de la población con dos NBI en el cantón de San Rafael, según el porcentaje de población por UGM

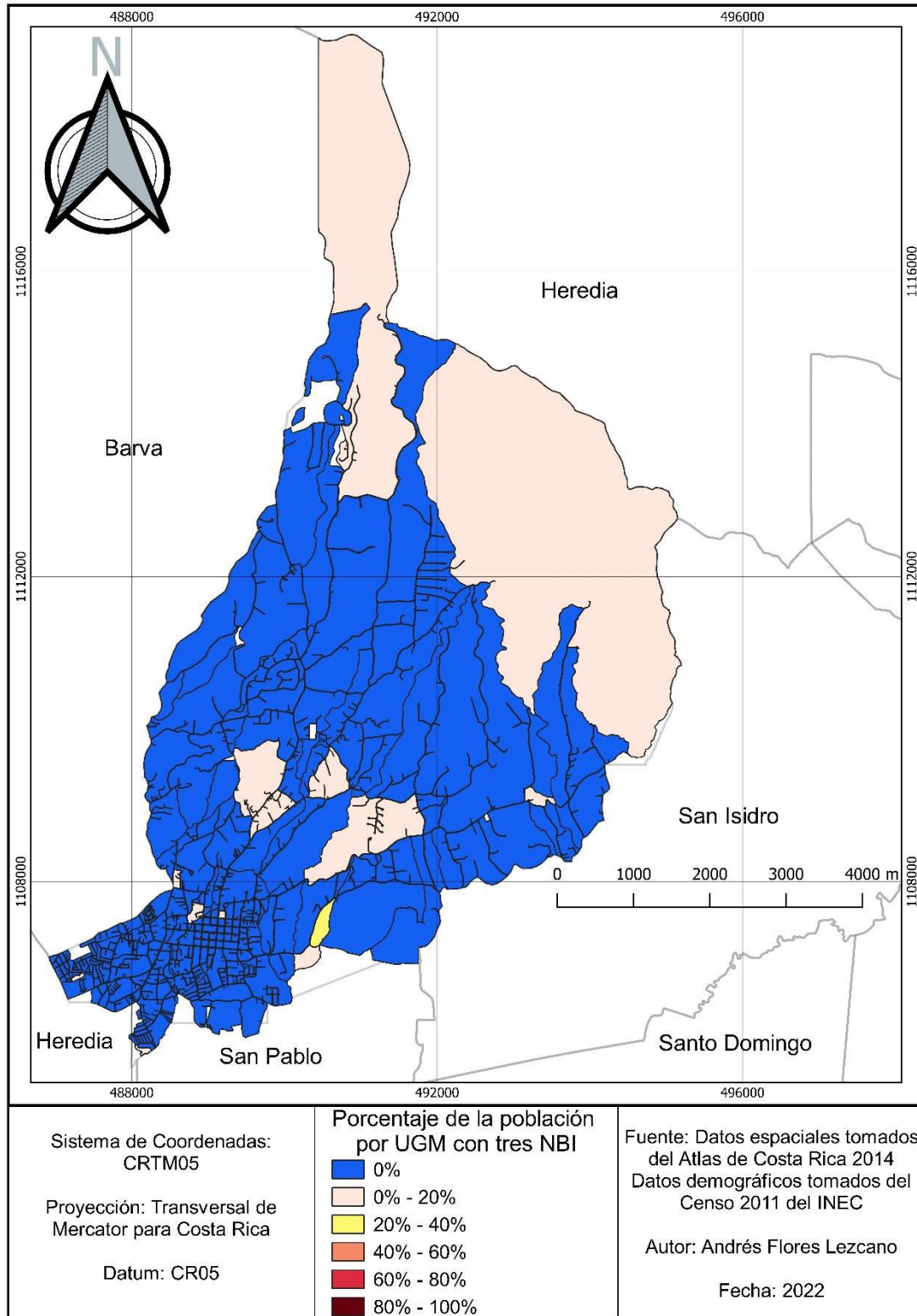


Figura 12. Distribución espacial de la población con tres NBI en el cantón de San Rafael, según el porcentaje de población por UGM

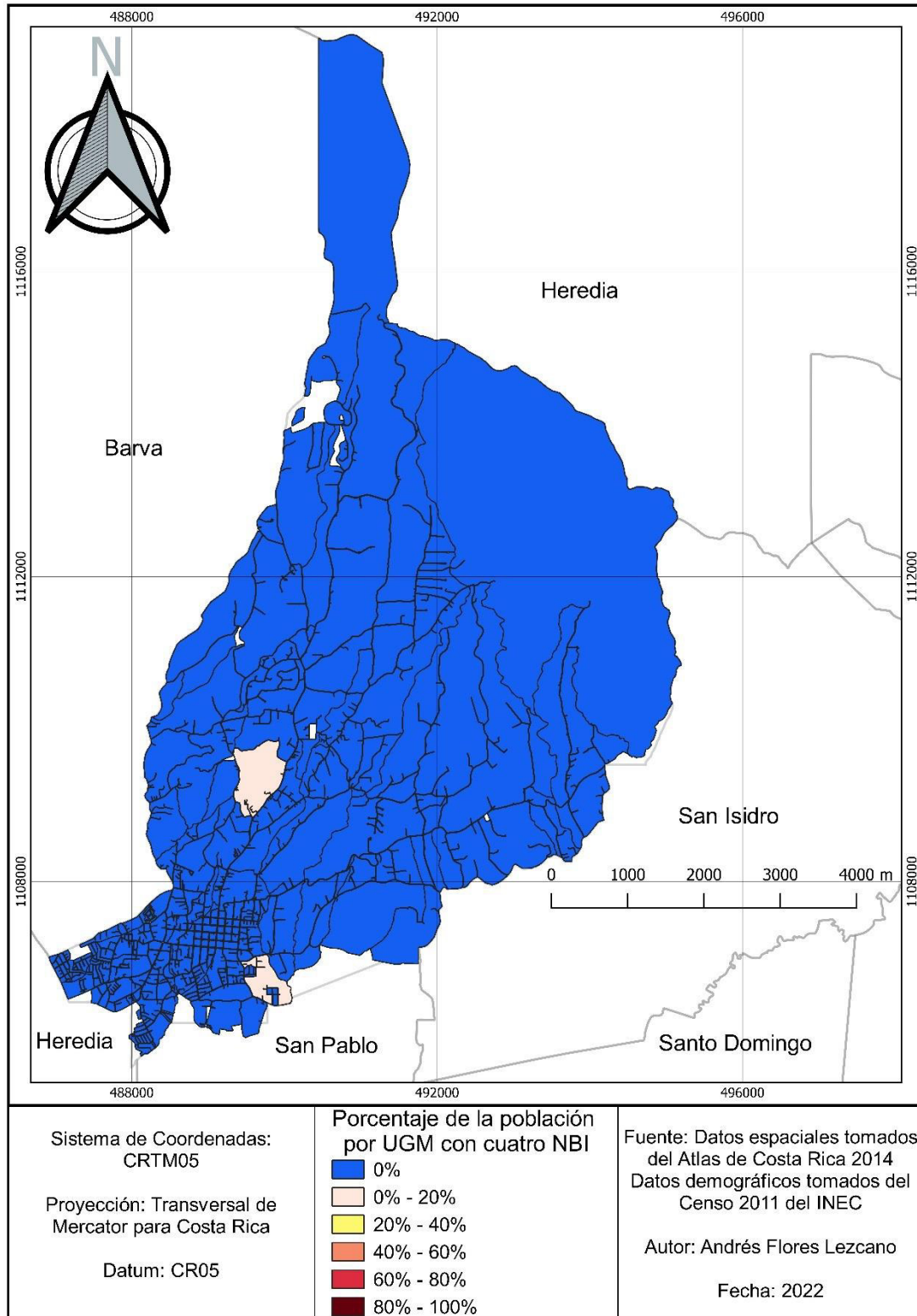


Figura 13. Distribución espacial de la población con cuatro NBI en el cantón de San Rafael, según el porcentaje de población por UGM

### 4.1.3. Parámetros socioeconómicos

#### 4.1.3.1. Valores de bienes inmuebles

Como parte del proceso de caracterización socioeconómica del cantón de San Rafael, es importante conocer las condiciones del mercado de bienes inmuebles en la zona al momento de realizar la investigación (año 2021), para analizar si la presencia de los desarrollos urbanísticos identificados incide en el valor de los bienes inmuebles circundantes o únicamente a lo interno del proyecto urbanístico.

Tras la investigación de mercado, en algunas zonas homogéneas no se logró obtener terrenos en venta sin construcción, por lo tanto, en los casos donde se encontraron terrenos en venta con área construida, se procedió a utilizar el Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva del 2015 del Ministerio de Hacienda, como apoyo para descontar el aporte de la construcción del precio total ofertado, a fin de obtener una aproximación del valor de terreno por m<sup>2</sup> para cada zona homogénea. Se utilizó el Manual correspondiente al año 2015 porque coincide con la fecha de publicación del mapa de valores de terrenos por zonas homogéneas más reciente.

Si bien se sabe que los valores indicados en este Manual corresponden a costos aproximados de construcción establecidos para fines fiscales y que estos pueden diferir significativamente de los valores de mercado, se realiza esta simplificación con el fin de disponer de un elemento de comparación, pues el objetivo de esta investigación no es el de realizar avalúos de bienes inmuebles con fines de mercado. Los resultados obtenidos se resumen en un mapa de valores de mercado de terrenos, por zona homogénea (Figura 14).



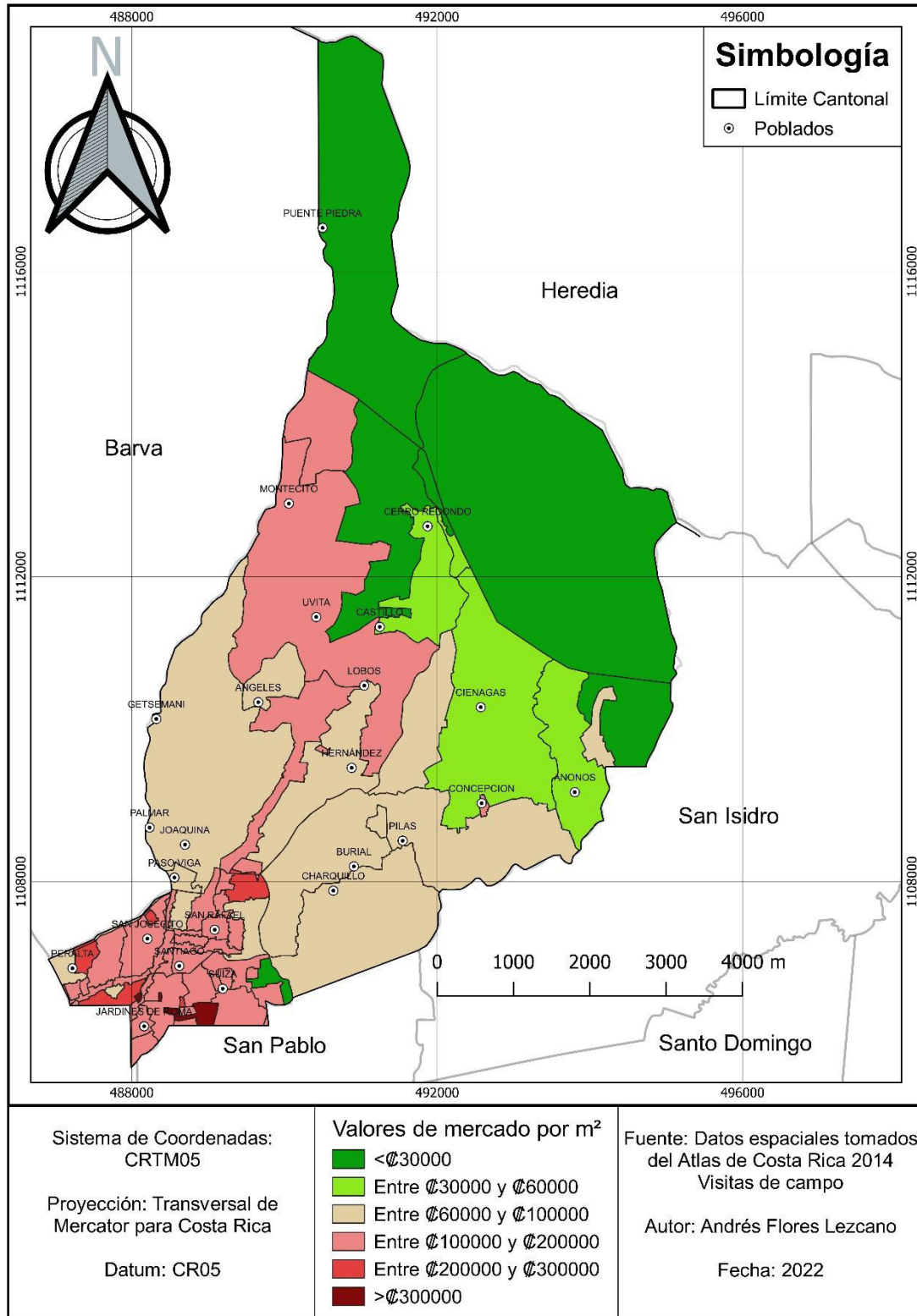


Figura 14. Mapa de valores de mercado de terrenos en el cantón de San Rafael, por zona homogénea

A partir de los mapas de zonas homogéneas correspondientes a los años 2008 (Anexo 1) y 2015 (Anexo 2), se confeccionó el Cuadro 11, donde se presenta el valor fiscal asignado a las distintas zonas homogéneas en cada año y su equivalencia en valor presente. Esto se complementó con un estudio de mercado realizado en el año 2021 y, una vez obtenidos todos los valores al mismo año, se compararon los distintos periodos para conocer el cambio porcentual en el valor. En algunos casos la zona homogénea fue dividida en otras, por lo que estas subdivisiones se compararon con la zona homogénea a la cual pertenecían anteriormente. Para el año 2021 se realizó la división de algunas zonas homogéneas con el objetivo de destacar condominios constituidos después del año 2015 y otros que, si bien se constituyeron previamente, no habían sido divididos en una zona homogénea aparte.



Cuadro 11. Resumen de valores fiscales y de mercado de los terrenos en las distintas zonas homogéneas del cantón de San Rafael y su variación porcentual

Nombre de zona homogénea 2008	Valor fiscal (€)	Valor fiscal a 2021 (€)	Nombre de zona homogénea 2015	Valor fiscal (€)	Valor fiscal a 2021 (€)	Valor de mercado en 2021 (€)	Diferencia de valor a 2021, período 2008-2015 (%)	Diferencia de valor a 2021, período 2015-2021 (%)	Sub divisiones de zonas homogéneas 2021
<b>Zona comercial San Rafael</b>	100 000	145 452	<b>Zona comercial San Rafael</b>	180 000	200 626	200 000	37,93	-0,31	
<b>Pali</b>	80 000	116 362	<b>Ruta San Rafael Shere</b>	140 000	156 042	150 000	34,10	-3,87	
<b>Salida ángeles</b>	50 000	72 726	<b>Ruta a Shere</b>	80 000	89 167	100 000	22,61	12,15	<b>Ruta a Shere</b>
						150 000		68,22	<b>Condominio La Quinta</b>
<b>Puente Piedra</b>	15 000 - 45 000	43 636	<b>Puente Piedra</b>	20 000 - 80 000	55 729	100 000	27,72	79,44	<b>Puente Piedra</b>
						204 000		266,05	<b>Condominio Vistas de San Rafael</b>
<b>Residencial Bello Verde</b>			<b>Residencial Bello Verde</b>	140 000	156 042	190 000	257,60	21,76	
<b>Arguedas Molina</b>	20 000 - 60 000	58 181	<b>Arguedas Molina</b>	24 000 - 80 000	57 959	100 000	-0,38	72,54	
<b>El Oasis</b>	65 000	94 544	<b>Los Roles</b>	130 000	144 896	192 000	53,26	32,51	
<b>Francisca Valerio</b>	60 000	87 271	<b>Francisca Valerio</b>	80 000	89 167	120 000	2,17	34,58	
<b>Eje Comercial</b>	85 000	123 634	<b>Eje Comercial Sur</b>	160 000	178 334	197 000	44,24	10,47	
<b>Centro de Cultura</b>	70 000	101 816	<b>Centro de Cultura</b>	140 000	156 042	165 000	53,26	5,74	
<b>Eje Comercial</b>	85 000	123 634	<b>Eje Comercial Norte</b>	160 000	178 334	197 000	44,24	10,47	
<b>La Terraza</b>	50 000	72 726	<b>La Terraza</b>	70 000	78 021	91 000	7,28	16,64	
			<b>Calle Nueva</b>	100 000	111 459	130 000	53,26	16,64	
<b>Calle Hacia el Palmar</b>	65 000	94 544	<b>Calle Hacia el Palmar</b>	100 000	111 459	110 000	17,89	-1,31	

Cuadro 11. Resumen de valores fiscales y de mercado de los terrenos en las distintas zonas homogéneas del cantón de San Rafael y su variación porcentual (cont.)

Nombre de zona homogénea 2008	Valor fiscal (€)	Valor fiscal a 2021 (€)	Nombre de zona homogénea 2015	Valor fiscal (€)	Valor fiscal a 2021 (€)	Valor de mercado en 2021 (€)	Diferencia de valor a 2021, periodo 2008-2015 (%)	Diferencia de valor a 2021, periodo 2015-2021 (%)	Sub divisiones de zonas homogéneas 2021
Eje Comercial	85000	123 634	Eje comercial-Ruta Nacional San Josecito	160 000	178 334	200 000	44,24	12,15	
Cementerio	20000 - 50000	50 908	Cementerio	30 000 - 90 000	66 875	155 000	31,36	131,77	
Las Angarillas	70000	101 816	Condominio Angarillas	130 000	144 896	207 000	42,31	42,86	
Calle Hacia El Palmar	65000	94 544	Calle Hacia El Palmar	100 000	111 459	110 000	17,89	-1,31	
Centro de Cultura	70000	101 816	Centro de Cultura	140 000	156 042	165 000	53,26	5,74	
Trigo Verde	60000	87 271	Trigo Verde	80 000	89 167	120 000	2,17	34,58	
La Joya	50000	72 726	La Joya	100 000	111 459	120 000	53,26	7,66	La Joya
						400 000		258,88	Altos de Heredia
						510 000		357,57	Vista Sol
			Condominio Alta Vista	530 000	590 732	640 000	712,27	8,34	
Corazón de Jesús	35000	50 908	Corazón de Jesús	80 000	89 167	100 000	75,15	12,15	
Calle Molino	60000	87 271	Calle Molino	90 000	100 313	170 000	14,94	69,47	
Comercial - Calle Molino	70000	101 816	Comercial - Calle Molino	125 000	139 323	180 000	36,84	29,20	
Pueblo Bonito	65000	94 544	Urbanización Pueblo Bonito	110 000	122 605	170 000	29,68	38,66	
			Automercado	65 000	72 448	135 000	-23,37	86,34	
			Villa Sole	70 000	78 021	110 000	-17,48	40,99	
Peralta	30000	43 636	Lotes Peralta	65 000	72 448	84 000	66,03	15,94	

Cuadro 11. Resumen de valores fiscales y de mercado de los terrenos en las distintas zonas homogéneas del cantón de San Rafael y su variación porcentual (cont.)

Nombre de zona homogénea 2008	Valor fiscal (€)	Valor fiscal a 2021 (€)	Nombre de zona homogénea 2015	Valor fiscal (€)	Valor fiscal a 2021 (€)	Valor de mercado en 2021 (€)	Diferencia de valor a 2021, período 2008-2015 (%)	Diferencia de valor a 2021, período 2015-2021 (%)	Sub divisiones de zonas homogéneas 2021
<b>Bajo Molino</b>	10000 - 35000	32 727	<b>Bajo Los Molinos</b>	80 000	89 167	150 000		68,22	
			<b>Condominio Vila del Sendero</b>	140 000	156 042	270 000	376,80	73,03	
			<b>Tierra Prometida-El Palmar</b>	75 000	83 594	100 000	155,43	19,63	
			<b>Santa Lucía - Jardines del Beneficio - Villa Esmeralda - Vilchez</b>	130 000	144 896	230 000	342,75	58,73	
<b>Altos de Palermo</b>	100000	145 452	<b>Altos de Palermo</b>	550 000 - 250 000	445 835	375 000	206,52	-15,89	
<b>Urbanizaciones</b>	40000	58 181	<b>Urbanizaciones</b>	80 000	89 167	122 000	53,26	36,82	
			<b>Residencial Campos Suizos</b>	95 000	105 886	193 000	81,99	82,27	
<b>Clínica Seguro Social</b>	60000	87 271	<b>Clínica Seguro Social</b>	80 000	89 167	122 000	2,17	36,82	
<b>Eje Comercial</b>	85000	123 634	<b>Eje Comercial - Santiago</b>	160 000	178 334	197 000	44,24	10,47	
<b>Cozumel</b>	2000 - 60000	45 090	<b>Norte y este Residencial Cozumel</b>	10 000	11 146	10 000	-75,28	-10,28	
			<b>Residencial Malinche San Rafael</b>	130 000	144 896	200 000	221,35	38,03	
			<b>Residencial Cozumel - Karina</b>	120 000	133 751	163 000	196,63	21,87	

Cuadro 11. Resumen de valores fiscales y de mercado de los terrenos en las distintas zonas homogéneas del cantón de San Rafael y su variación porcentual (cont.)

Nombre de zona homogénea 2008	Valor fiscal (€)	Valor fiscal a 2021 (€)	Nombre de zona homogénea 2015	Valor fiscal (€)	Valor fiscal a 2021 (€)	Valor de mercado en 2021 (€)	Diferencia de valor a 2021, período 2008-2015 (%)	Diferencia de valor a 2021, período 2015-2021 (%)	Sub divisiones de zonas homogéneas 2021
<b>Mabe</b>	15000 - 40000	39 999	<b>Mabe</b>	19 000 - 55 000	41 240	110 000	3,10	166,73	<b>Mabe</b>
						250 000		506,21	<b>Condominio Barcelona</b>
<b>Escuela Alba Hernández</b>	20000 - 60000	58 181	<b>María del Rocío</b>	115 000	128 178	150 000	220,45	17,03	
			<b>Escuela Alba Hernández</b>	24 000 - 80 000	57 959	122 000	-0,38	110,50	
			<b>Condominio Flor de Itabos</b>	535 000 - 185 000	401 252	350 000	589,66	-12,77	
			<b>Condominio Mar de Plata</b>	125 000	139 323	217 000	139,47	55,75	
			<b>Condominio Vantaa</b>	135 000	150 469	338 000	158,62	124,63	
<b>María Auxiliadora</b>	140 000	156 042	160 000	168,20	2,54				
<b>Jardines Universitarios</b>	30000	43 636	<b>Jardines Universitarios</b>	65 000	72 448	102 000	66,03	40,79	
<b>Jardines de Roma</b>	35000	50 908	<b>Jardines de Roma</b>	70 000	78 021	120 000	53,26	53,80	
<b>Eje Comercial</b>	85000	123 634	<b>Ruta nacional comercial Santiago</b>	160 000	178 334	200 000	44,24	12,15	
			<b>Condominio Alta Vista</b>	530 000	590 732	640 000	377,81	8,34	
<b>Condominio Ave del Paraíso</b>	60 000	87 271	<b>Condominio Ave del Paraíso</b>	65 000	72 448	112 000	-16,98	54,59	
<b>Vía al Castillo</b>	15 000 - 50 000	47 272	<b>Vía al Castillo</b>	20 000 - 80 000	55 729	80 000	17,89	43,55	<b>Vía al Castillo</b>
						180 000		222,99	<b>Condominio Loma Flores</b>

Cuadro 11. Resumen de valores fiscales y de mercado de los terrenos en las distintas zonas homogéneas del cantón de San Rafael y su variación porcentual (cont.)

Nombre de zona homogénea 2008	Valor fiscal (€)	Valor fiscal a 2021 (€)	Nombre de zona homogénea 2015	Valor fiscal (€)	Valor fiscal a 2021 (€)	Valor de mercado en 2021 (€)	Diferencia de valor a 2021, período 2008-2015 (%)	Diferencia de valor a 2021, período 2015-2021 (%)	Sub divisiones de zonas homogéneas 2021
Residencial del Monte	15 000 - 34 000	35 636	Residencial del Monte	20 000 - 40 000	33 438	105 000	-6,17	214,02	
Zona de Protección	500 - 3 000	3 000	Zona de Protección	500 - 3 000	3 000	3 000	0,00	0,00	
Monte de la Cruz	4 000 - 12 000	12 000	Monte de la Cruz	7 000 - 15 000	15 000	15 000	25,00	0,00	
Urbanización El Castillo	15 000 - 30 000	32 727	Urbanización El Castillo	18 000 - 50 000	37 896	50 000	15,80	31,94	
La Honguera	8 000 - 27 000	25 454	Ángeles	20 000 - 60 000	44 584	132 000	75,15	196,07	
Calle Hernández	12 000 - 35 000	34 181	Calle Hernández	15 000 - 60 000	41 797	85 000	22,28	103,36	
			Residencial Bello Verde	140 000	156 042	190 000	356,51	21,76	
			Condominio Colinas del Ciprés	100 000	111 459	180 000	226,08	61,49	
			Puente Piedra 2	20 000 - 80 000	55 729	204 000	63,04	266,05	
El Palmar	40 000	58 181	El Palmar	70 000	78 021	100 000	34,10	28,17	
Joaquina - Getsemaní	10 000 - 35 000	32 727	Joaquina - Getsemaní	13 000 - 60 000	40 682	75 000	24,31	84,35	
Calle Chávez	15 000 - 40 000	39 999	Breña de Mora	25 000 - 70 000	52 943	55 000	32,36	3,89	
			Calle Chávez	80 000	89 167	80 000	122,92	-10,28	
Zona Protección	500 - 3 000	3 000	Zona Protección	500 - 3 000	3 000	3 000	0,00	0,00	
Chilillal	7 000 - 25 000	23 272	Chilillal	6 000 - 30 000	20 063	22 000	-13,79	9,66	

Cuadro 11. Resumen de valores fiscales y de mercado de los terrenos en las distintas zonas homogéneas del cantón de San Rafael y su variación porcentual (cont.)

Nombre de zona homogénea 2008	Valor fiscal (€)	Valor fiscal a 2021 (€)	Nombre de zona homogénea 2015	Valor fiscal (€)	Valor fiscal a 2021 (€)	Valor de mercado en 2021 (€)	Diferencia de valor a 2021, período 2008-2015 (%)	Diferencia de valor a 2021, período 2015-2021 (%)	Sub divisiones de zonas homogéneas 2021
<b>Concepción</b>	12 000 - 35 000	34 181	<b>Concepción</b>	15 000 - 60 000	41 797	80 000	22,28	91,40	<b>Concepción</b>
						190 000		354,58	
<b>Las Cruces</b>	2 000 - 10 000	8 727	<b>Tierra Blanca</b>	15 000 - 50 000	36 224	67 000	315,08	84,96	
<b>Urbanización Kitimat</b>	30 000	43 636	<b>Urbanización Kitimat</b>	45 000	50 156	65 000	14,94	29,59	
<b>Calle Ciénega</b>	8 000 - 27 000	25 454	<b>Calle Ciénega</b>	16 000 - 55 000	39 568	35 000	55,45	-11,54	
			<b>Condominio La Inmaculada</b>	85 000	94 740	185 000	272,20	95,27	
			<b>Calle Aguacate</b>	20 000 - 60 000	44 584	80 000	75,15	79,44	
<b>Urbanización El Castillo</b>	15 000 - 30 000	32 727	<b>Urbanización El Castillo</b>	18 000 - 50 000	37 896	50 000	15,80	31,94	
<b>Cruce de Calles</b>	4 000 - 12 000	11 636	<b>Cruce de caminos</b>	7 000 - 15 000	12 260	15 000	5,37	22,34	

Fuente: Elaborado a partir de Ministerio de Hacienda, 2008 y 2015-b

#### 4.1.3.2. Criminalidad

En lo que respecta a los datos de delitos registrados en el cantón de San Rafael, el registro disponible inicia a partir del año 2004, considerándose entonces el periodo 2004-2019. El OIJ categoriza los crímenes en 6 tipos, los cuales son: asalto, hurto, tacha de vehículos, robo de vehículos, robo y homicidios. En las siguientes figuras se presentan las cantidades de cada uno de los tipos de delitos registrados por distrito, así como el total de delitos registrados por distrito y en el cantón.

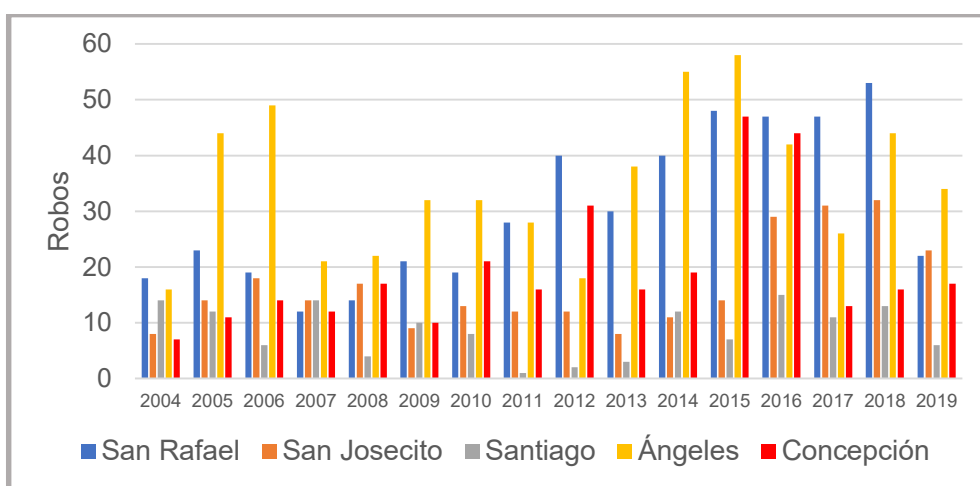


Figura 15. Cantidad de robos registrados en el cantón de San Rafael entre 2004 y 2019, por distrito

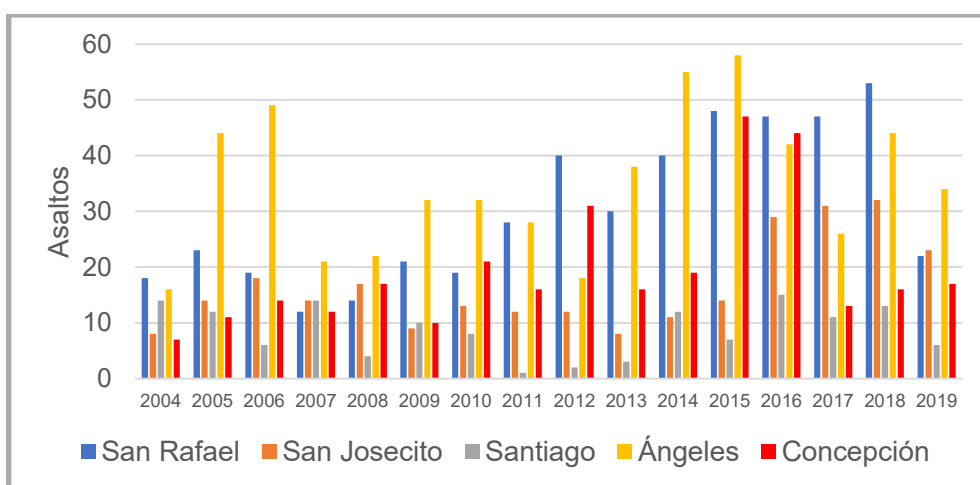


Figura 16. Cantidad de asaltos registrados en el cantón de San Rafael entre 2004 y 2019, por distrito

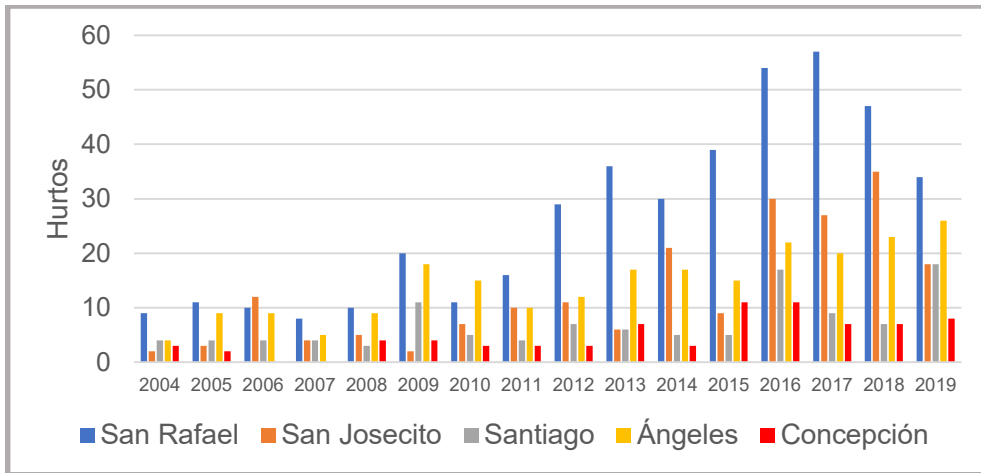


Figura 17. Cantidad de hurtos registrados en el cantón de San Rafael entre 2004 y 2019, por distrito

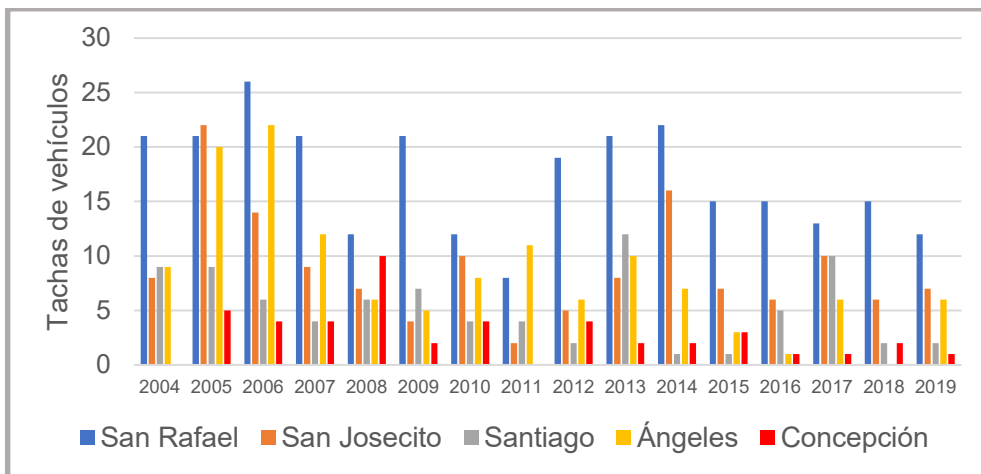


Figura 18. Cantidad de tachas de vehículos registradas en el cantón de San Rafael entre 2004 y 2019, por distrito

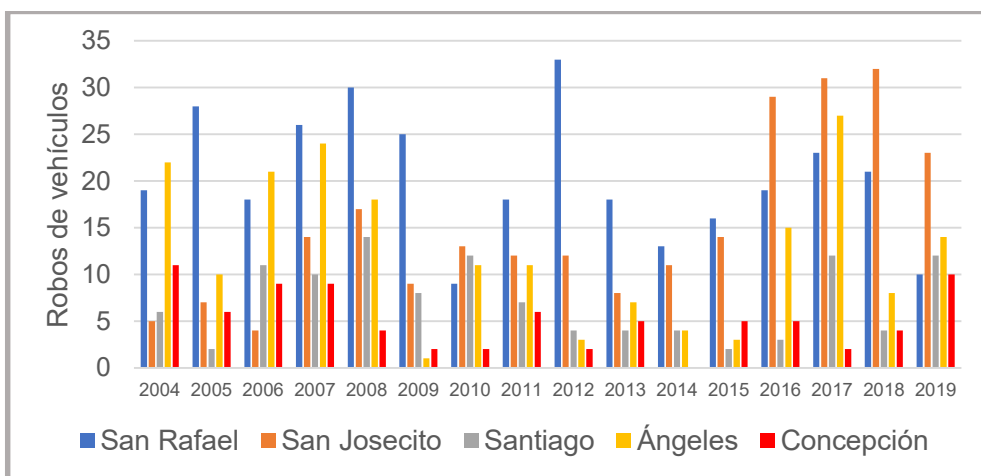


Figura 19. Cantidad de robos de vehículos registrados en el cantón de San Rafael entre 2004 y 2019, por distrito



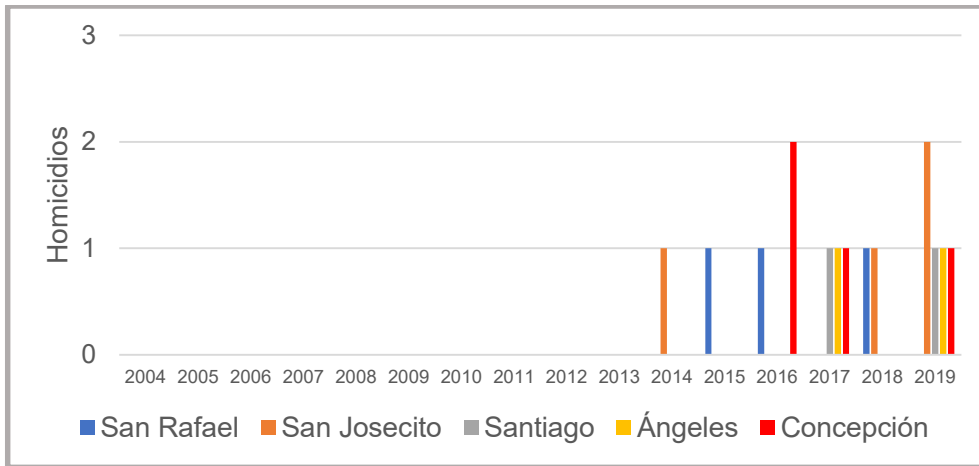


Figura 20. Cantidad de homicidios registrados en el cantón de San Rafael entre 2004 y 2019, por distrito

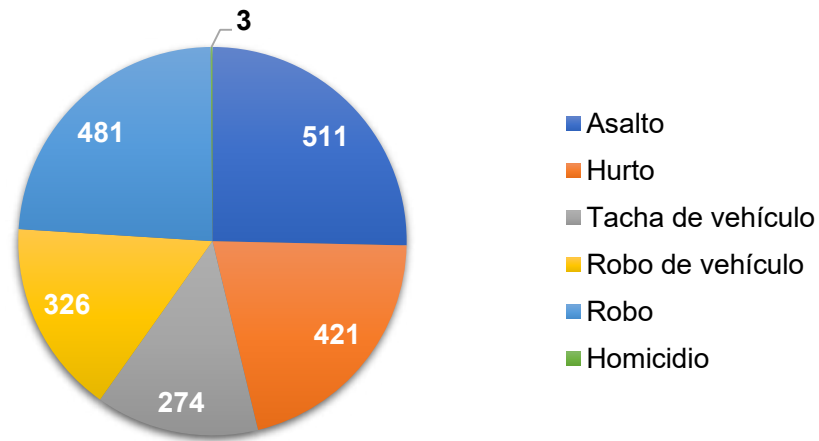


Figura 21. Cantidad de delitos registrados entre 2004 y 2019 en el distrito de San Rafael

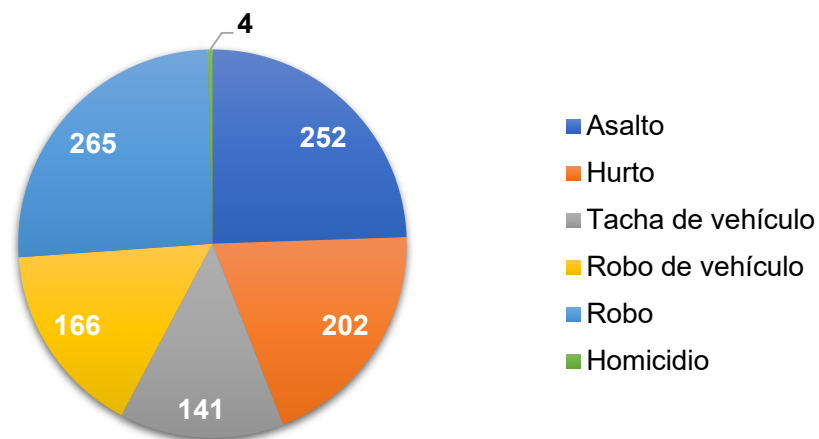


Figura 22. Cantidad de delitos registrados entre 2004 y 2019 en el distrito de San Josecito

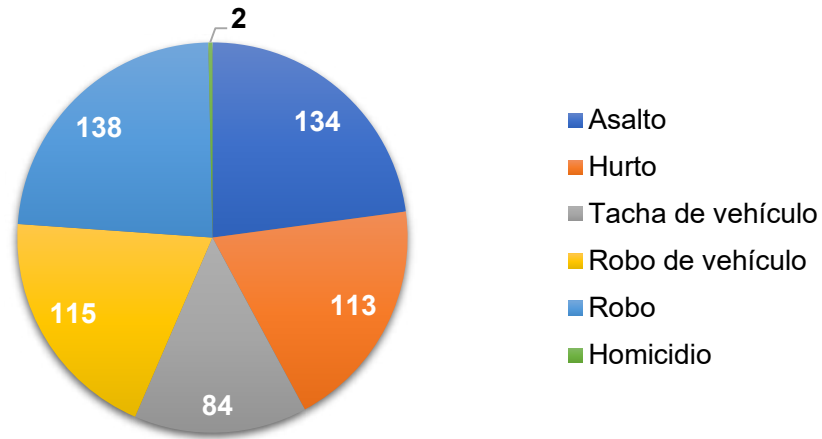


Figura 23. Cantidad de delitos registrados entre 2004 y 2019 en el distrito de Santiago

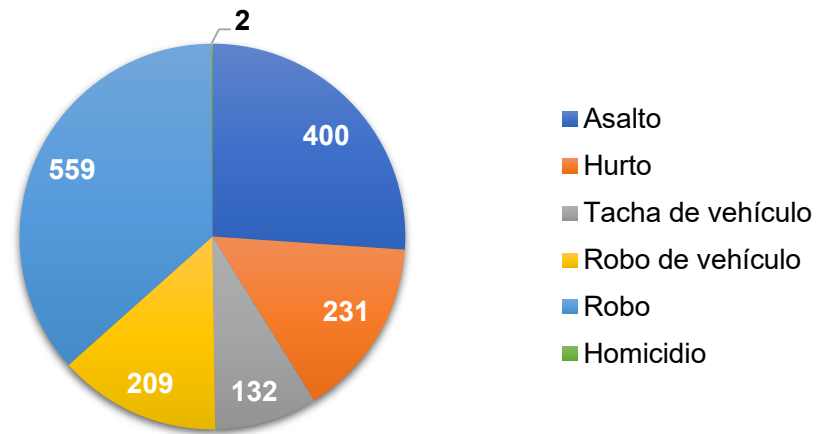


Figura 24. Cantidad de delitos registrados entre 2004 y 2019 en el distrito de Ángeles

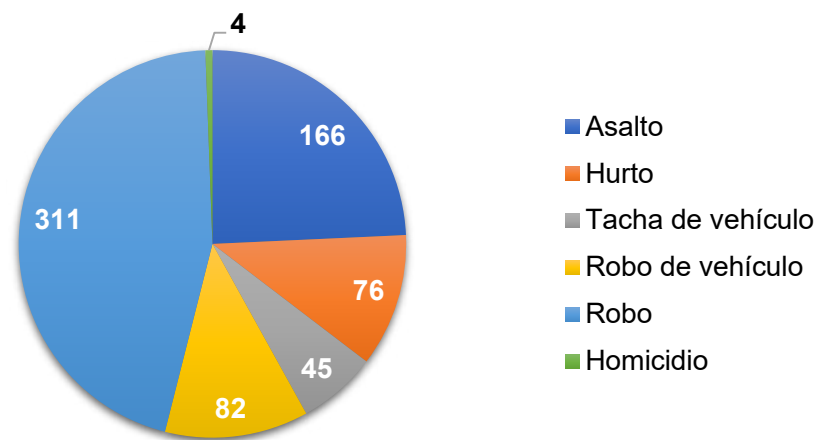


Figura 25. Cantidad de delitos registrados entre 2004 y 2019 en el distrito de Concepción

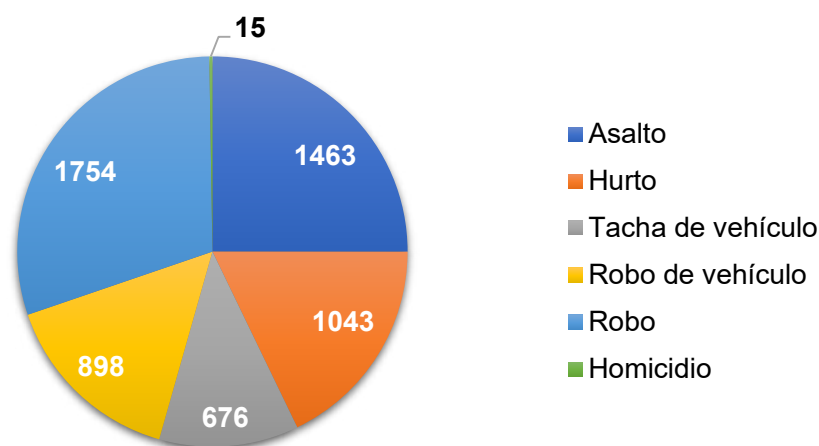


Figura 26. Cantidad de delitos registrados entre 2004 y 2019 en el cantón de San Rafael

#### 4.1.4. Parámetros físicos

A partir de las curvas de nivel disponibles en el SNIT, con un intervalo de 10 m entre curvas, se generó el DEM del cantón de San Rafael, del cual se obtuvieron las pendientes para dividir el área en función del tipo de terreno que se presenta. La Figura 27 muestra los resultados de la clasificación por porcentaje de pendiente, según lo establecido en el apartado 3.1.4, y el Cuadro 12 resume el área que abarca cada uno de los tipos de terreno.

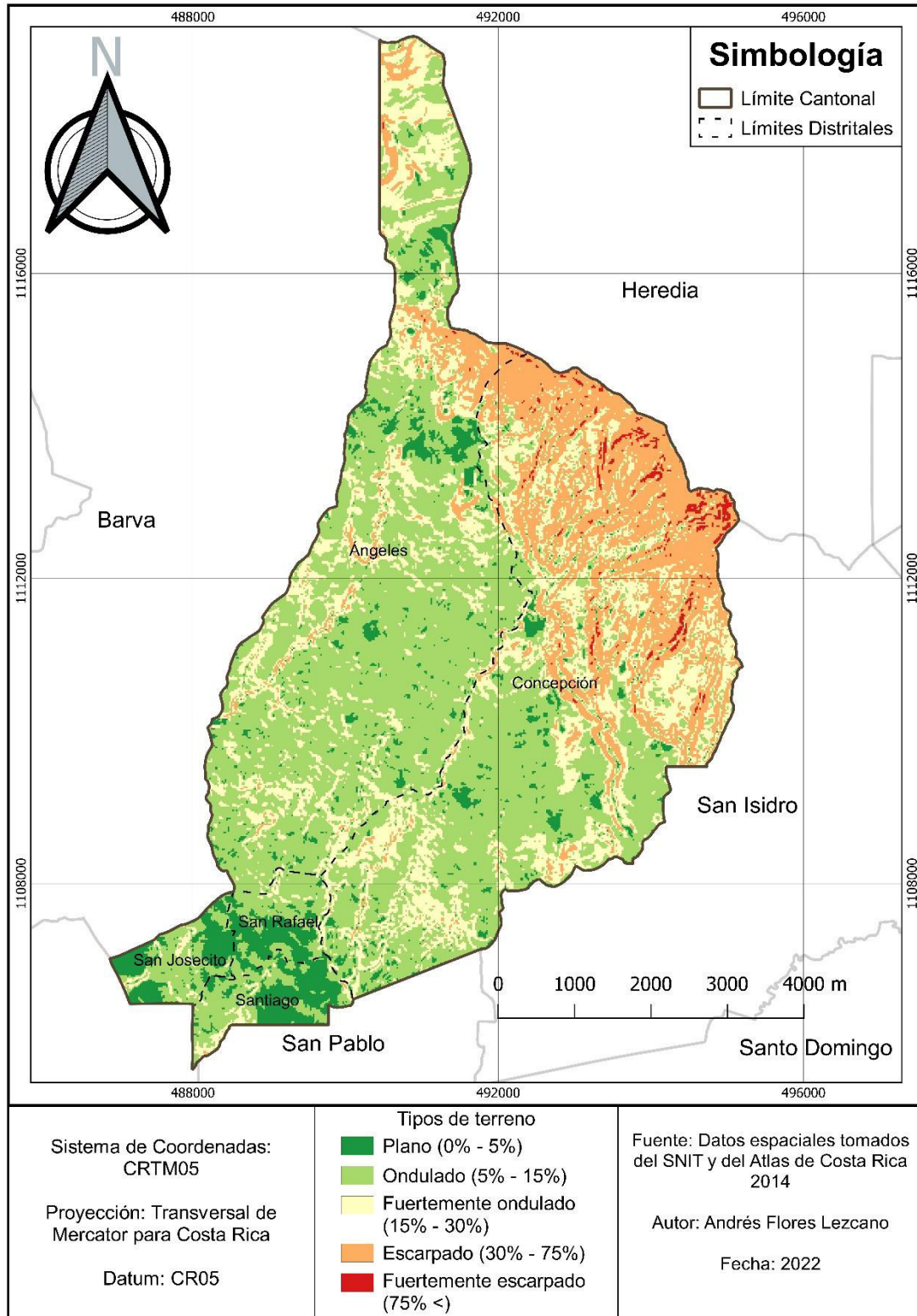


Figura 27. Caracterización topográfica del cantón de San Rafael, por tipo de terreno en función de la pendiente

Cuadro 12. Área por tipo de terreno en el cantón de San Rafael, según el intervalo de pendiente

<b>Tipo de terreno</b>	<b>Intervalo de pendiente</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Plano	0% - 5%	4,63	9,58
Ondulado	5% - 15%	23,12	47,85
Fuertemente ondulado	15% - 30%	11,99	24,78
Escarpado	30% - 75%	7,91	16,37
Fuertemente escarpado	75% <	0,68	1,41
Total	-	48,33	100,00

Con base en los datos mostrados en el Cuadro 12, se identifica que más del 57% del territorio del cantón presenta pendientes inferiores al 15%, lo que representa una gran extensión de terreno apta para el desarrollo de actividades urbanas, como menciona la Municipalidad de San Rafael en la propuesta de plan regulador realizado en el año 2005 (p. 37). Estos terrenos se ubican en la parte sur del cantón y en los centros poblacionales más desarrollados de los distritos Ángeles y Concepción, y no todos se encuentran urbanizados actualmente, por lo que se convierten en espacios de potencial desarrollo futuro.

#### 4.1.5. Parámetros ambientales

Como parte de la caracterización ambiental del cantón de San Rafael, se parte de la presencia de una red hidrográfica densa, la cual se extiende a lo largo de la mayor parte del territorio y forma parte de la cuenca del Río Grande de Tárcoles. Desde el punto de vista hidrológico, el territorio del cantón se puede dividir de acuerdo con la delimitación de las siguientes tres subcuencas:

- Subcuenca del Río Bermúdez
- Subcuenca del Río Segundo
- Subcuenca del Río Tibás

Además, a lo largo del cantón de San Rafael se destaca la presencia de 6 fuentes y 23 nacientes y sitios de captación. En la Figura 28 se muestra la delimitación de las subcuencas mencionadas y la distribución espacial de los ríos, quebradas, fuentes, nacientes y sitios de captación oficialmente registrados.

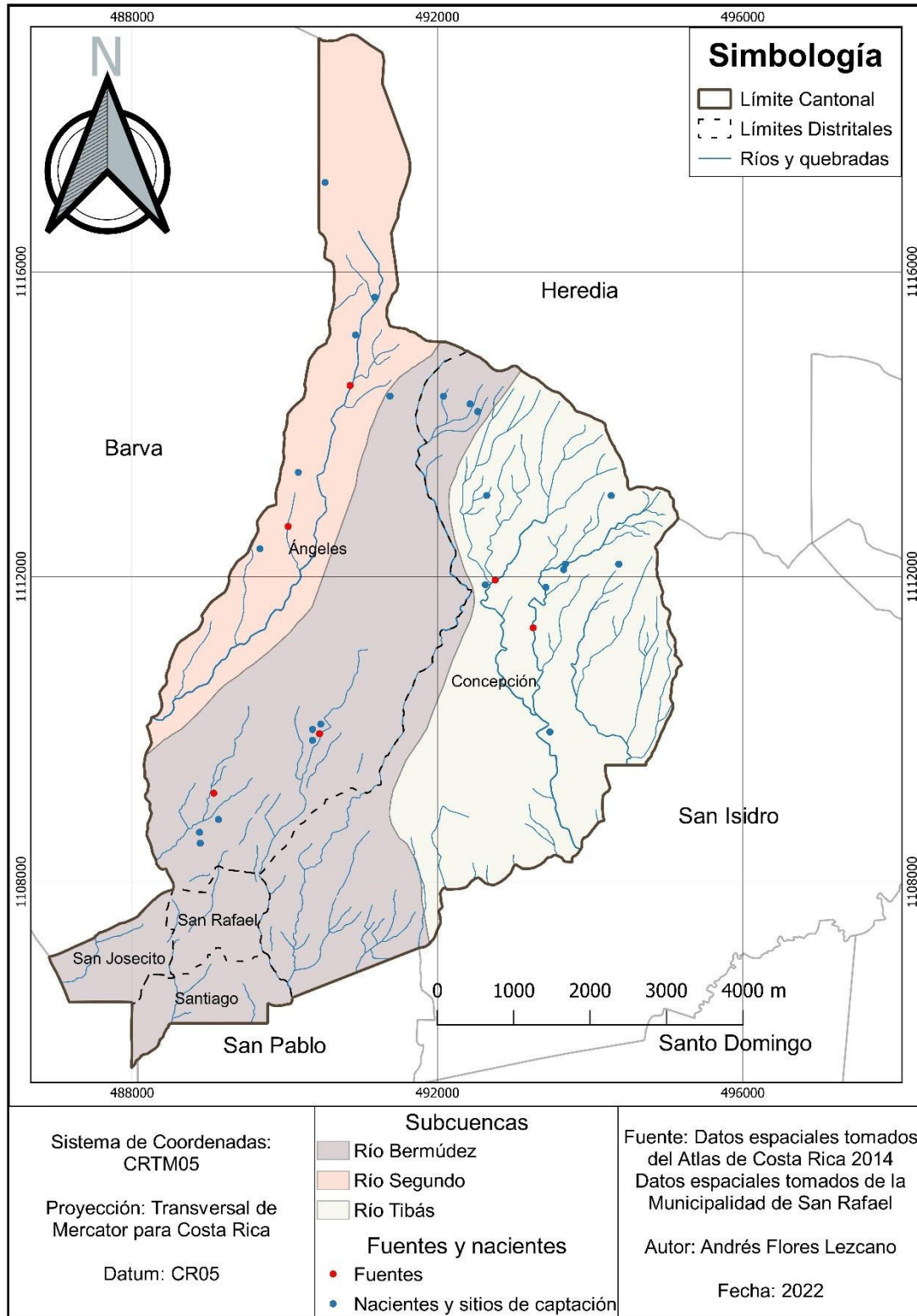


Figura 28. Hidrografía del cantón de San Rafael

De igual manera, es importante destacar que bajo la totalidad de la superficie del cantón se ubican dos acuíferos: el acuífero Barva y el acuífero

Colima, los cuales son muy importantes para el abastecimiento de agua potable en la GAM y presentan la particularidad de hallarse superpuestos, uno a mayor profundidad que el otro.

Además, en el cantón de San Rafael se ubican territorios que forman parte de 3 áreas silvestres protegidas: el Parque Nacional Braulio Carrillo, la Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central y el Refugio Nacional de Vida Silvestre Jaguarundí, este último de propiedad privada.

En la Figura 29 se identifica el área del cantón que comprenden los acuíferos y las áreas silvestres protegidas, así como la ubicación de las zonas de recarga de acuíferos oficialmente identificadas.



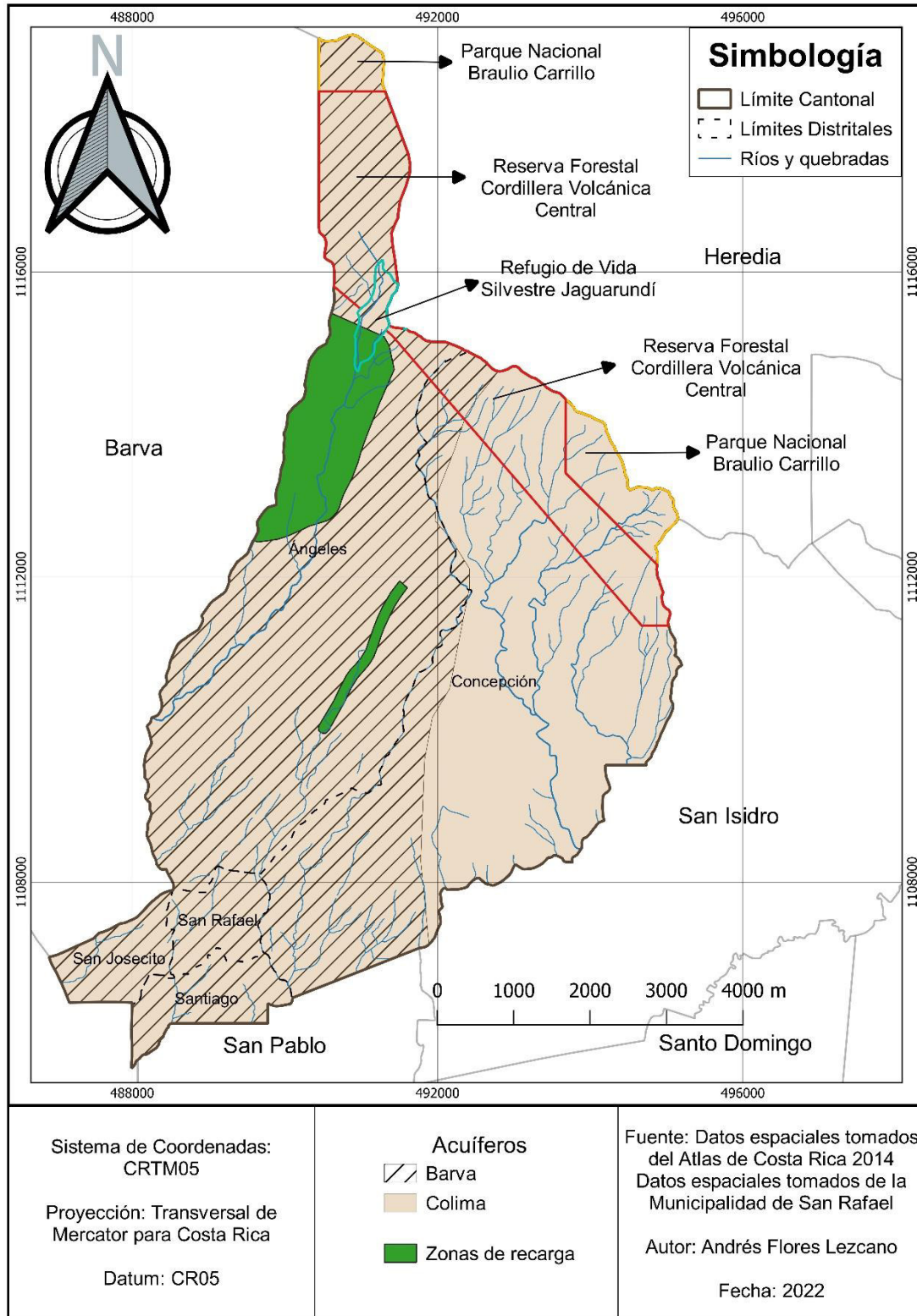


Figura 29. Acuíferos, zonas de recarga de acuíferos y áreas silvestres protegidas en el cantón de San Rafael

Con base en la información suministrada por la Municipalidad de San Rafael y la disponible en el SNIT, se realizó un gráfico con la cantidad de pozos

registrados en el cantón, categorizados según el uso para el cual han sido destinados, el cual se muestra en la Figura 30. Por otra parte, en la Figura 31 se presenta la distribución espacial de estos pozos.

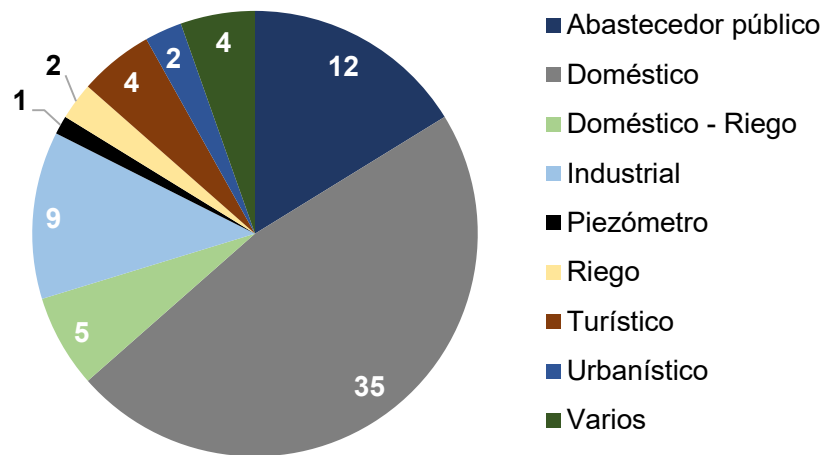


Figura 30. Cantidad de pozos ubicados en el cantón de San Rafael, según el tipo de aprovechamiento

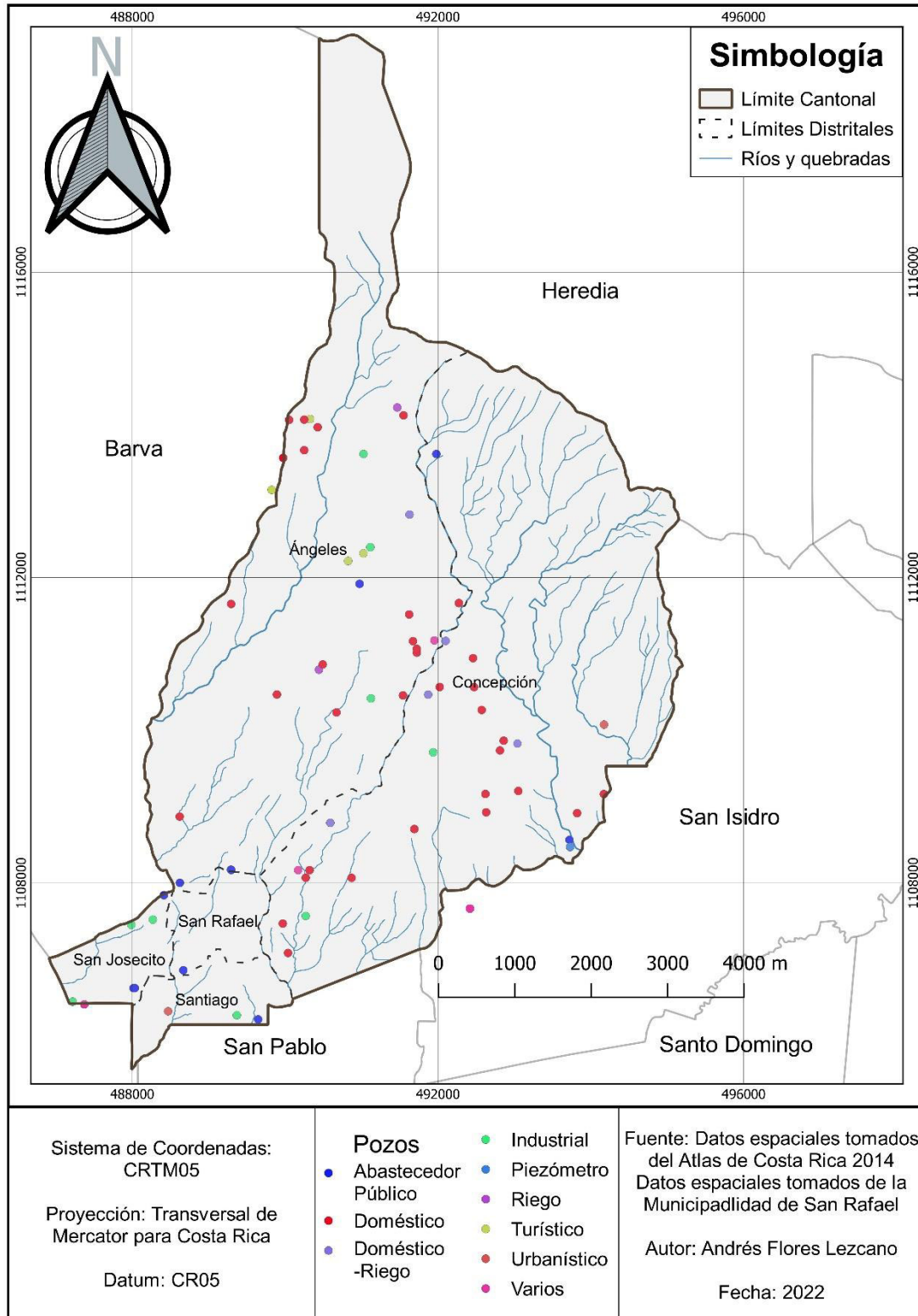


Figura 31. Distribución espacial de los pozos ubicados en el cantón de San Rafael

## 4.2. Cobertura urbana y cobertura vegetal

Debido a la presencia abundante de nubosidad que caracteriza la zona de estudio, se optó por utilizar más de un conjunto de bandas espectrales para cada uno de los años seleccionados, con el fin de obtener los mejores resultados posibles.

Por esta misma situación, se optó por utilizar imágenes satelitales de los años 1996, 2016 y 2019, en sustitución de las correspondientes a los años 1995, 2015 y 2020, respectivamente. Otra consecuencia de la presencia continua y abundante de nubosidad en la zona de estudio es que se descartó contar con imágenes satelitales para el año 2005, ya que en el periodo de 2004 a 2006 ninguna de las imágenes proporciona resultados correctos, dado que son alterados por la nubosidad.

Los conjuntos de bandas espectrales seleccionados para el cálculo de los índices fotogramétricos se muestran en el Cuadro 13, según el año, la misión, la fecha de captura y la resolución de las bandas espectrales utilizadas.

Cuadro 13. Características de los conjuntos de bandas espectrales seleccionados

<b>Año</b>	<b>Misión</b>	<b>Fecha de captura</b>	<b>Resolución de las bandas espectrales utilizadas</b>
1990	LANDSAT 5	01/01/1990	30 m x 30 m
1996	LANDSAT 5	09/06/1996	30 m x 30 m
2000	LANDSAT 7	21/12/2000	30 m x 30 m
2010	LANDSAT 7	15/01/2010	30 m x 30 m
2016	LANDSAT 8	08/01/2016	30 m x 30 m
2019	LANDSAT 8	01/02/2019	30 m x 30 m

Para cada uno de los años seleccionados dentro del intervalo de estudio se realizó el cálculo de las coberturas urbana y vegetal. Este cálculo se realizó tomando en cuenta el valor teórico y el valor de pixel que se ajustó de mejor manera a la realidad de cada momento, por medio de la fotointerpretación de las imágenes generadas en color verdadero para cada uno de los años.

Debido a que se realizó una corrección atmosférica en la que se enmascararon las nubes y sombras, se efectuó la cuantificación de los pixeles para el cálculo de las coberturas, primero sin considerar el área de la máscara y luego sumándola a la cobertura vegetal presente en la zona de estudio. El área cubierta por nubes se agrega a la cobertura vegetal dado que se ubica en la parte norte del cantón, donde las imágenes satelitales permiten identificar la presencia de grandes áreas de bosque.

#### 4.2.1. Cobertura urbana

Después de calcular el NDBI y seleccionar los pixeles con un valor mayor a 0, que según la teoría corresponden a la presencia de edificaciones, se determinó que los resultados obtenidos no mostraron una adecuada correspondencia con la realidad, utilizando como parámetro de comparación la imagen en color verdadero de la misma fecha.

Tras una serie de análisis para distintos valores de pixel, se comprobó que, al menos en el área de estudio, el NDBI no ofrece resultados acertados o que representen fielmente la realidad. Por esta razón, y por los buenos resultados que ofreció el NDVI, se decidió utilizar como base este índice, ya que a partir del NDVI se tiene una delimitación adecuada de las coberturas que

corresponden a edificaciones y suelos desnudos o con vegetación pobre o enferma.

Seguidamente, a partir de las imágenes en color verdadero y el área demarcada por los píxeles con valores del NDVI menores a 0,5, se crearon polígonos para delimitar las áreas ocupadas mayormente por edificaciones, como cobertura urbana correspondiente a cada uno de los años estudiados dentro el intervalo de tiempo que abarca la investigación.

En el Cuadro 14 se presenta la cobertura urbana obtenida para cada uno de los años en estudio, utilizando como base el valor teórico y mediante la delimitación de coberturas de las áreas edificadas, es decir, aquellas en las que se presentaron valores de NDVI menores a 0,5.

Cuadro 14. Área con cobertura urbana en el cantón de San Rafael para cada año en estudio, según el NDBI calculado y la delimitación de áreas

<b>Año</b>	<b>Área con cobertura urbana según el NDBI (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área con cobertura urbana según el NDBI (%)</b>	<b>Área con cobertura urbana según la delimitación de áreas edificadas (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área con cobertura urbana según la delimitación de áreas edificadas (%)</b>
1990	0,37	0,77	1,72	3,56
1996	0,45	0,94	2,22	4,59
2000	0,47	0,97	3,66	7,57
2010	1,48	3,05	3,91	8,10
2016	1,49	3,08	4,28	8,85
2019	3,06	6,32	6,76	13,98

#### 4.2.2. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal en el cantón de San Rafael para cada uno de los años analizados resulta del cálculo del NDVI y la posterior separación de los

pixeles con un valor mayor o igual a 0,5, valor a partir del cual se da la presencia de vegetación densa, según la teoría (ver apartado 2.3.3.2).

Estos resultados se ajustaron al agregar el área que comprende la máscara de nubes y sombras de cada imagen. En el Cuadro 15 se muestra la cobertura vegetal identificada para cada año en estudio, como resultado del NDVI y de la incorporación del área que cubre la máscara de nubes y sombras.

Cuadro 15. Área con cobertura vegetal en el cantón de San Rafael para cada año en estudio, según el NDVI y las máscaras de sombras y nubes

<b>Año</b>	<b>Área con cobertura vegetal según el NDVI (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Cobertura de máscara de nubes y sombras (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área total con cobertura vegetal (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área total con cobertura vegetal (%)</b>
1990	44,90	1,39	46,29	95,79
1996	45,14	0,71	45,85	94,88
2000	43,83	0,05	43,88	90,80
2010	43,79	0,16	43,95	90,94
2016	40,54	2,91	43,45	89,90
2019	40,60	0,00	40,60	84,00

Al comparar las imágenes resultantes luego de la separación de pixeles con valores mayores o iguales a 0,5 contra las imágenes en color verdadero, se identifica que la presencia de cobertura vegetal determinada a partir del valor de 0,5 ofrece resultados coincidentes con lo que existe en la realidad.

En la Figura 32 y la Figura 33 se muestra el cambio que hubo entre el año 1990 y el año 2019 en cuanto a la cobertura urbana y la cobertura vegetal, con la finalidad de evidenciar los sitios con cambios más drásticos, mientras que en la Figura 34 se muestra el cambio en las coberturas urbana y vegetal entre los años 1990, 1996, 2000, 2010, 2016 y 2019.

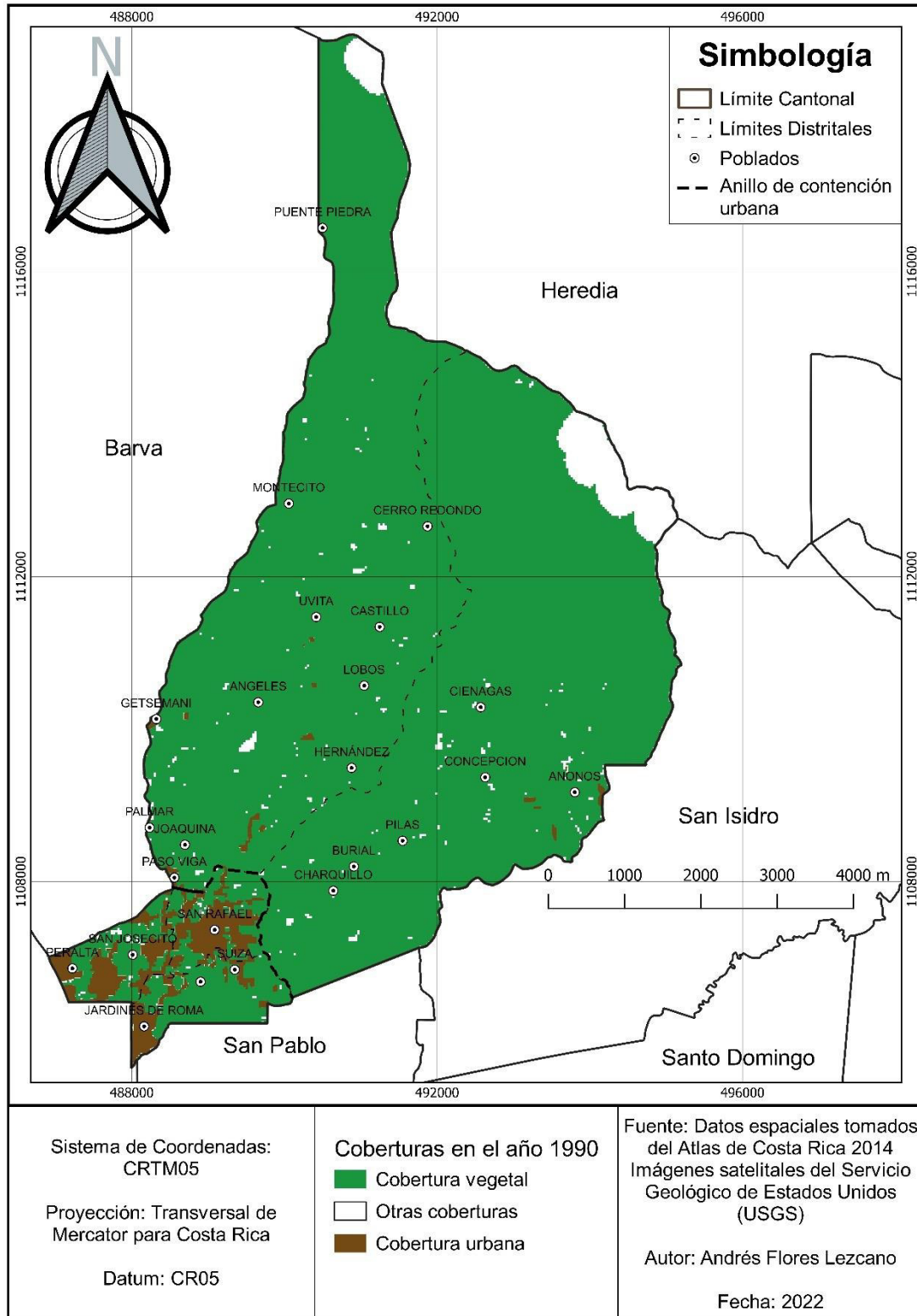


Figura 32. Distribución espacial de las coberturas urbana y vegetal en el cantón de San Rafael en el año 1990



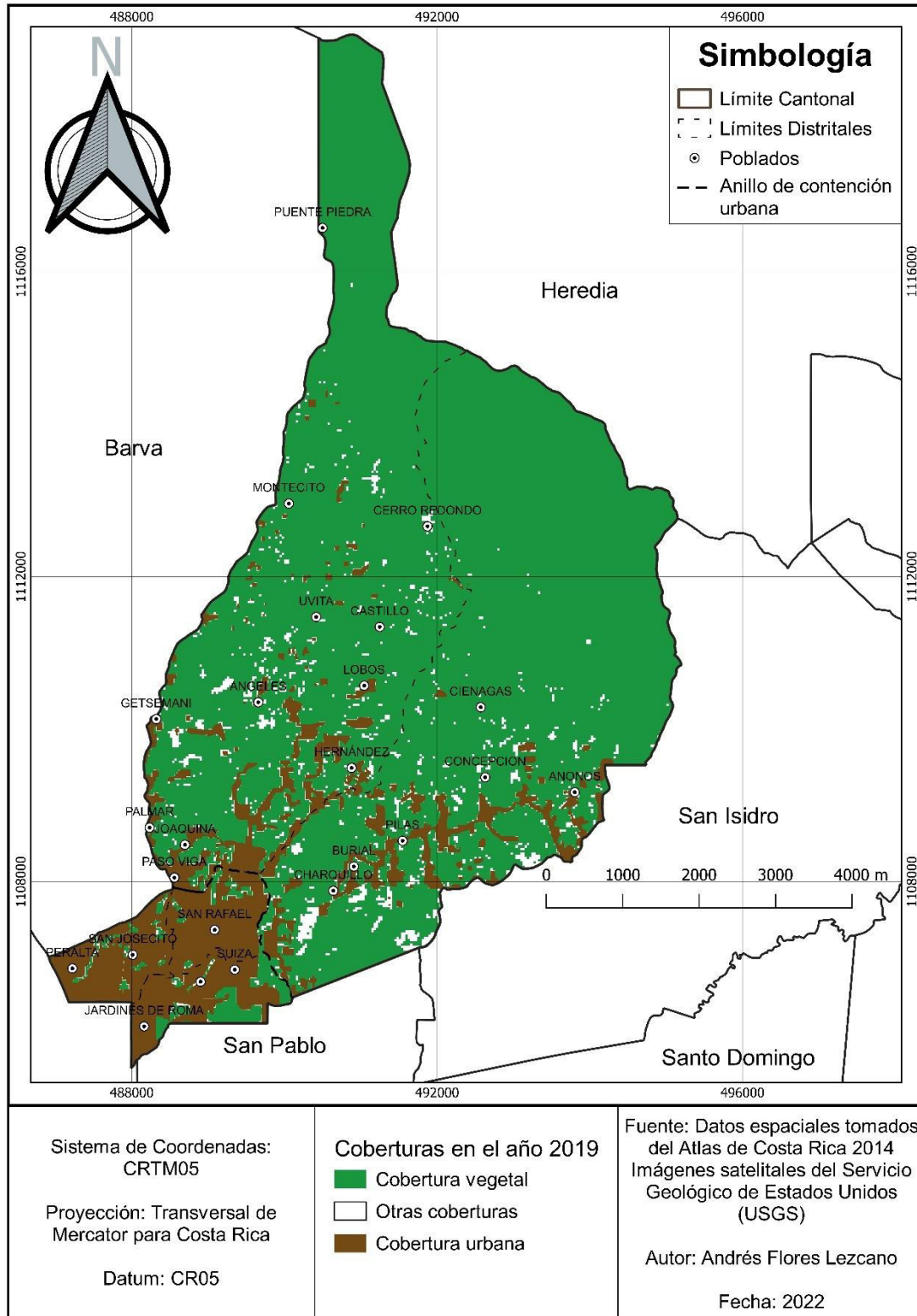


Figura 33. Distribución espacial de las coberturas urbana y vegetal en el cantón de San Rafael en el año 2019

Al comparar las figuras anteriores se evidencia el aumento en la mancha urbana de los tres distritos ubicados hacia el sur, dejando pequeños espacios

verdes que en algunos casos corresponden a la ubicación de los ríos y quebradas que atraviesan el cantón, y su respectiva área de protección, aunque en el distrito de Santiago se observan áreas más extensas con cobertura vegetal, las cuales se analizaron en el apartado 4.1.4, concluyendo que son aptas para el desarrollo de nuevos espacios urbanos. Hacia el norte se observa que el aumento en la cobertura urbana se ha presentado de manera lineal, siguiendo las principales vías de comunicación, junto con la expansión de los centros poblacionales de los distritos Ángeles y Concepción.

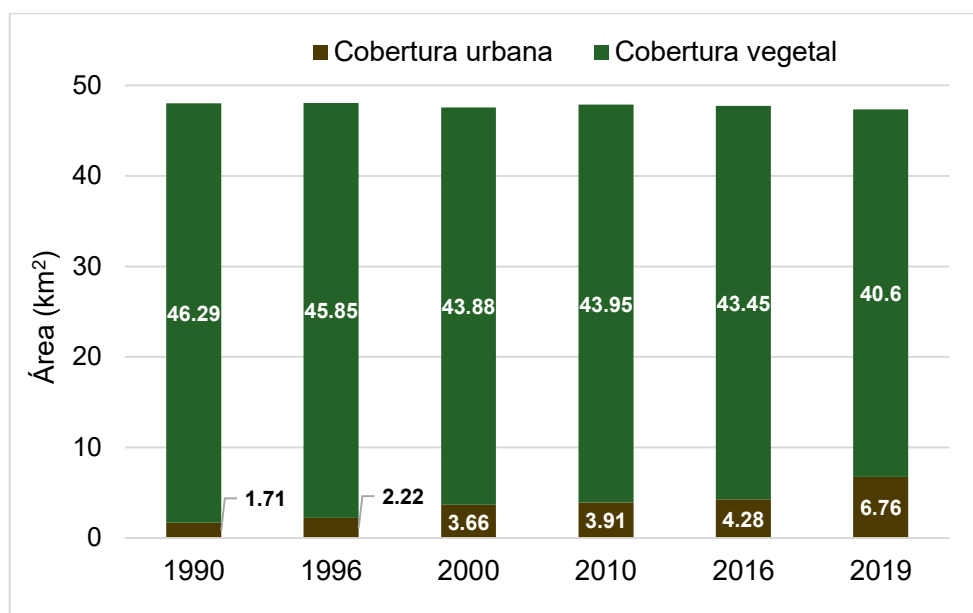


Figura 34. Cambio en las coberturas urbana y vegetal en el cantón de San Rafael, entre los años 1990 y 2019

Cabe mencionar que la suma de las áreas de cobertura urbana y cobertura vegetal no alcanza el 100% del área del cantón de San Rafael. Esto se debe a que el proceso de clasificación de coberturas contempla también la existencia de coberturas distintas a las indicadas, como pueden ser cuerpos de agua, suelos desnudos y pastizales.

A modo de resultado global, se dio un aumento en la cobertura urbana de 5,04 km<sup>2</sup>, lo que representa un cambio del 393%, mientras que la cobertura

vegetal se redujo en 5,69 km<sup>2</sup>, una disminución del 12,3% en el intervalo de los 29 años estudiados.

#### 4.3. Verificación de la existencia de fragmentación urbana

Para comprobar que el cantón de San Rafael ha sido objeto de un proceso de fragmentación urbana, su territorio se dividió en dos zonas: la zona 1 comprende el área ubicada dentro del anillo de contención urbana de la GAM, en la parte suroeste del cantón, y abarca los distritos de San Rafael, San Josecito y Santiago; y la zona 2 por fuera del anillo de contención, donde se encuentran los distritos de Ángeles y Concepción. La zona 2 presenta una extensión de terreno mucho mayor que la zona 1 y es principalmente de carácter rural. La delimitación de estas zonas se muestra en la Figura 35.

Debido a las grandes diferencias que se presentan en ambas zonas, una con un mayor desarrollo urbano y comercial y la otra con una mayor cantidad de atractivos paisajísticos y de sitios de esparcimiento, el análisis de cada una se realizó por separado, teniendo en cuenta las variables de agrupamiento de viviendas, servicios básicos y equipamiento y sistema vial, tanto dentro como fuera de los condominios.

Tal y como se indica en el apartado 3.3, las variables analizadas para verificar la existencia de fragmentación urbana son las mismas propuestas por la metodología utilizada por Contreras et al. (2018).

En el Cuadro 16 se muestra el cambio que presentaron estas variables entre 1990 y 2019 en la zona urbana del cantón y en el Cuadro 17 se muestran los resultados correspondientes a la zona rural. Para ambos casos se

consideraron como servicios básicos los siguientes: servicio de agua potable, servicio de electricidad y alumbrado.

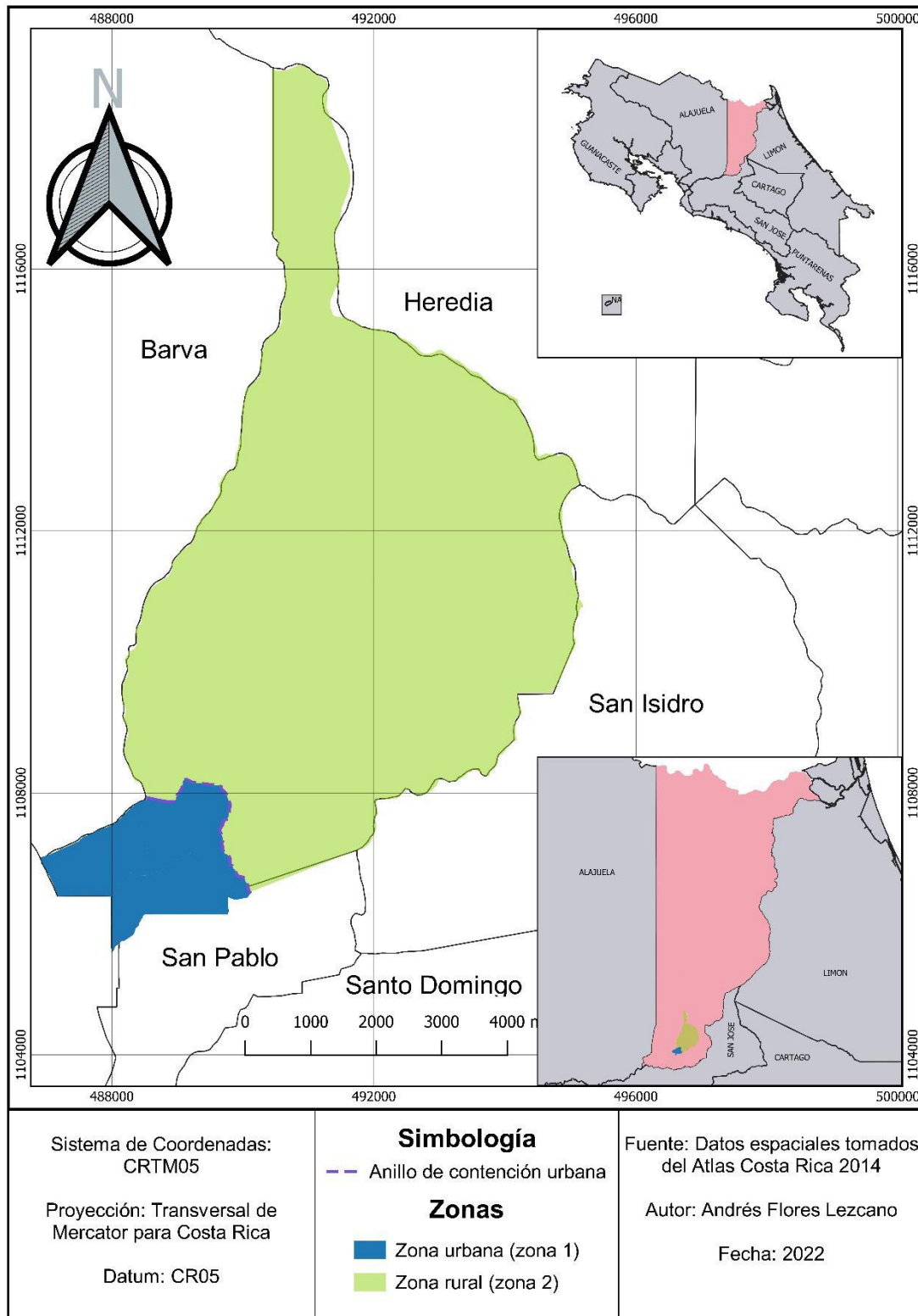


Figura 35. División de la zona urbana (zona 1) y la zona rural (zona 2) en el cantón de San Rafael

Cuadro 16. Proceso de fragmentación urbana en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1), entre 1990 y 2019

<b>Variable</b>	<b>1990-2000</b>	<b>2001-2010</b>	<b>2011-2019</b>
<b>Agrupación de viviendas dentro de los condominios</b>	Construcción de 2 condominios residenciales	Construcción de 5 condominios residenciales	Construcción de 6 condominios residenciales
<b>Agrupación de viviendas fuera de los condominios</b>	Grupos de viviendas dispersas y 10 asentamientos de viviendas de carácter social	Consolidación de grupos de viviendas frente a rutas principales y desarrollo de 4 proyectos de vivienda de tipo urbanización	Consolidación del entramado urbano en la mayor parte del espacio disponible mediante la combinación de viviendas de carácter social y de autoconstrucción
<b>Servicios básicos y equipamiento dentro de los condominios</b>	Servicios básicos y zonas verdes, pero inexistencia de zonas con equipamiento recreativo y deportivo	Servicios básicos, sistemas de tratamiento de aguas residuales, zonas verdes y equipamiento deportivo y recreativo	Servicios básicos, sistemas de tratamiento de aguas residuales, zonas verdes y equipamiento deportivo y recreativo
<b>Servicios básicos y equipamiento fuera de los condominios</b>	Servicios básicos y zonas verdes, pero inexistencia de zonas con equipamiento recreativo y deportivo	Servicios básicos, zonas verdes y pequeños espacios dispersos con equipamiento deportivo y recreativo	Servicios básicos, zonas verdes y pequeños espacios dispersos con equipamiento deportivo y recreativo
<b>Sistema vial dentro de los condominios</b>	Calles pavimentadas	Calles pavimentadas y aceras	Calles pavimentadas y aceras
<b>Sistema vial fuera de los condominios</b>	Combinación de tipos de capas de rodamiento: en las vías principales pavimento y en el resto lastre	Calles pavimentadas en la mayoría de la zona y aceras en la parte central y comercial	Calles pavimentadas en la mayoría de la zona y aceras en la mayoría de la zona

Cuadro 17. Proceso de fragmentación urbana en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2), entre 1990 y 2019

<b>Variable</b>	<b>1990-2000</b>	<b>2001-2010</b>	<b>2011-2019</b>
<b>Agrupación de viviendas dentro de los condominios</b>	Inexistencia de condominios residenciales	Construcción de 2 condominios residenciales	Construcción de 3 condominios residenciales
<b>Agrupación de viviendas fuera de los condominios</b>	Grupos de viviendas dispersas y 3 asentamientos de viviendas de carácter social	Consolidación de asentamientos de viviendas de carácter social y de autoconstrucción frente a las principales calles de acceso	Consolidación de asentamientos frente a las principales calles de acceso y generación de pequeños poblados alejados de las cabeceras de los distritos
<b>Servicios básicos y equipamiento dentro de los condominios</b>	Inexistencia de condominios residenciales	Servicios básicos, sistemas de tratamiento de aguas residuales, zonas verdes y recreativas	Servicios básicos, sistemas de tratamiento de aguas residuales, zonas verdes y equipamiento deportivo y recreativo
<b>Servicios básicos y equipamiento fuera de los condominios</b>	Servicios básicos y zonas verdes, pero inexistencia de zonas con equipamiento recreativo y deportivo	Servicios básicos, zonas verdes y pequeños espacios dispersos con equipamiento deportivo, solo en los poblados de desarrollo lineal frente a las vías principales	Servicios básicos, zonas verdes y pequeños espacios dispersos con equipamiento deportivo, solo en los poblados de desarrollo lineal frente a las vías principales
<b>Sistema vial dentro de los condominios</b>	Inexistencia de condominios residenciales	Calles pavimentadas y aceras	Calles pavimentadas y aceras
<b>Sistema vial fuera de los condominios</b>	Combinación de tipos de capas de rodamiento: en las vías principales pavimento y lastre y en el resto de accesos lastre y tierra	Principales vías de acceso con pavimento y calles de lastre en la mayoría de las zonas alejadas de las vías principales. Aceras presentes en tramos interrumpidos a lo largo de las vías principales y en los centros de las cabeceras de los distritos	Principales vías de acceso con pavimento y calles de lastre en algunas zonas alejadas de las vías principales. Aceras presentes en tramos interrumpidos a lo largo de las vías principales y en los centros de las cabeceras de los distritos

A partir de los cuadros anteriores, se identifica que la proliferación de condominios residenciales en la zona 1 es evidente, ya que en el intervalo de estudio se desarrollaron en total 13 proyectos de este tipo, mientras que en la zona 2 se construyeron 5 condominios residenciales a partir del año 2000.

Los condominios existentes en el cantón de San Rafael se caracterizan por contar con equipamiento como gimnasios, canchas de tenis, piscinas, ranchos BBQ, entre otros, a los cuales el resto de la población que no vive en estas comunidades cerradas no tiene acceso, tiene acceso limitado o requiere realizar grandes desplazamientos para aprovechar espacios de este tipo y de carácter público. A modo de ejemplo, la empresa desarrolladora inmobiliaria Vilanova (s.f.) destaca que el Condominio Vila del Sendero, situado en el distrito San Josecito, cuenta con el siguiente equipamiento: seguridad 24 horas, tapia electrificada, planta de tratamiento de aguas residuales, áreas verdes con sendero, juegos infantiles, ranchos varios y cancha de fútbol 5.

En su mayoría y por las características descritas, en ambas zonas estos proyectos tienen como público meta poblaciones de ingresos medios altos y altos. Un claro indicador de esta situación es el valor de los terrenos: en la zona urbana el valor promedio del terreno en los condominios, por m<sup>2</sup>, ronda un valor de ¢374 000 y fuera de los condominios es de aproximadamente ¢145 000; mientras que en la zona rural el valor promedio del terreno en los condominios, por m<sup>2</sup>, ronda los ¢167 000 y en el resto del territorio es de aproximadamente ¢78 000, sin tomar en consideración los terrenos destinados a zona de protección, donde se encuentran el Parque Nacional Braulio Carrillo, la Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central y el Refugio de Vida Silvestre Jaguarundí.

En la Figura 36 y la Figura 37 se muestra de manera gráfica el avance temporal en el desarrollo de urbanizaciones y condominios residenciales en el cantón de San Rafael entre 1990 y 2019, mientras que en la Figura 38 se presenta el comportamiento de la mancha urbana a lo largo del período de estudio.



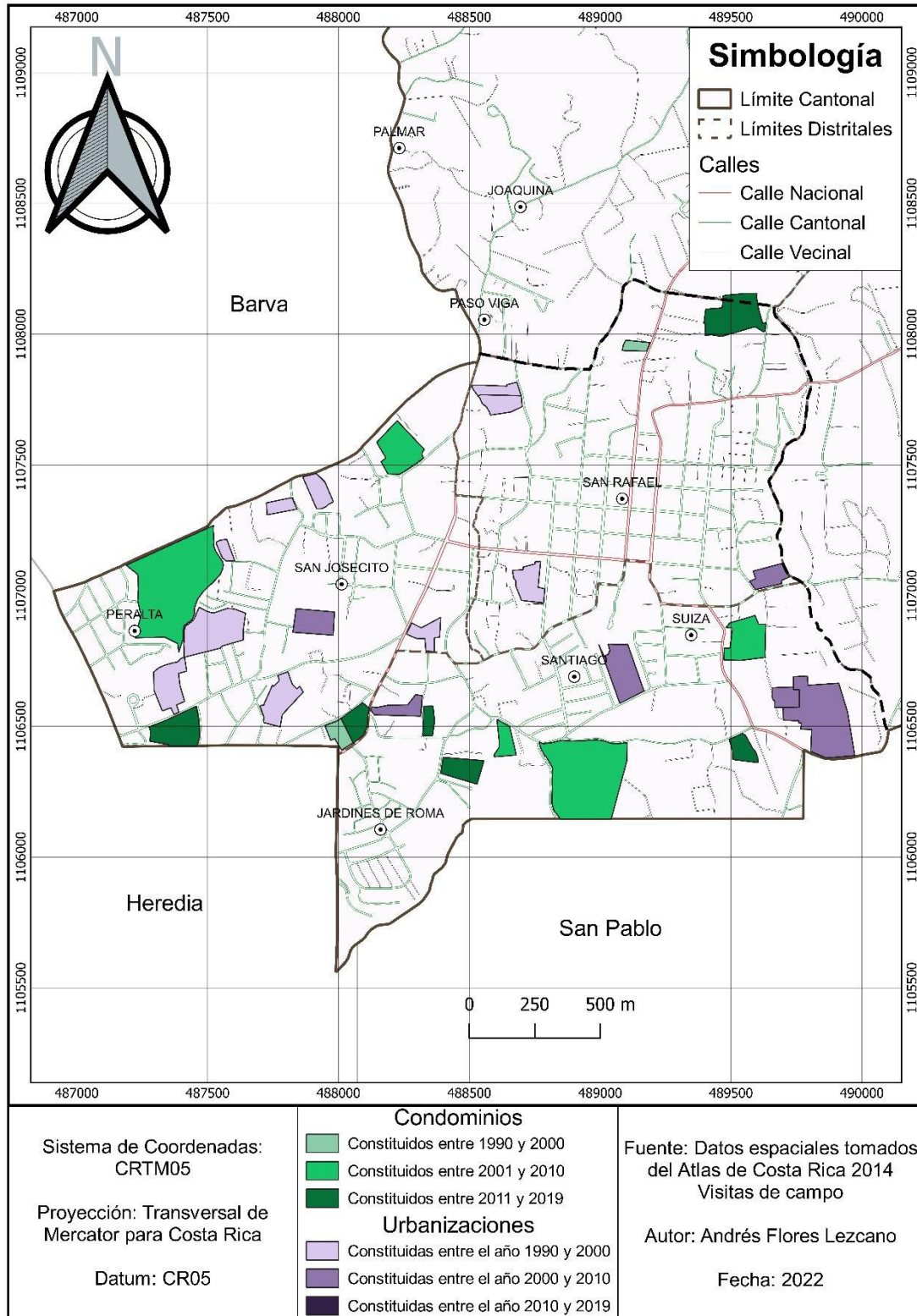


Figura 36. Proyectos urbanísticos constituidos en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1), entre 1990 y 2019

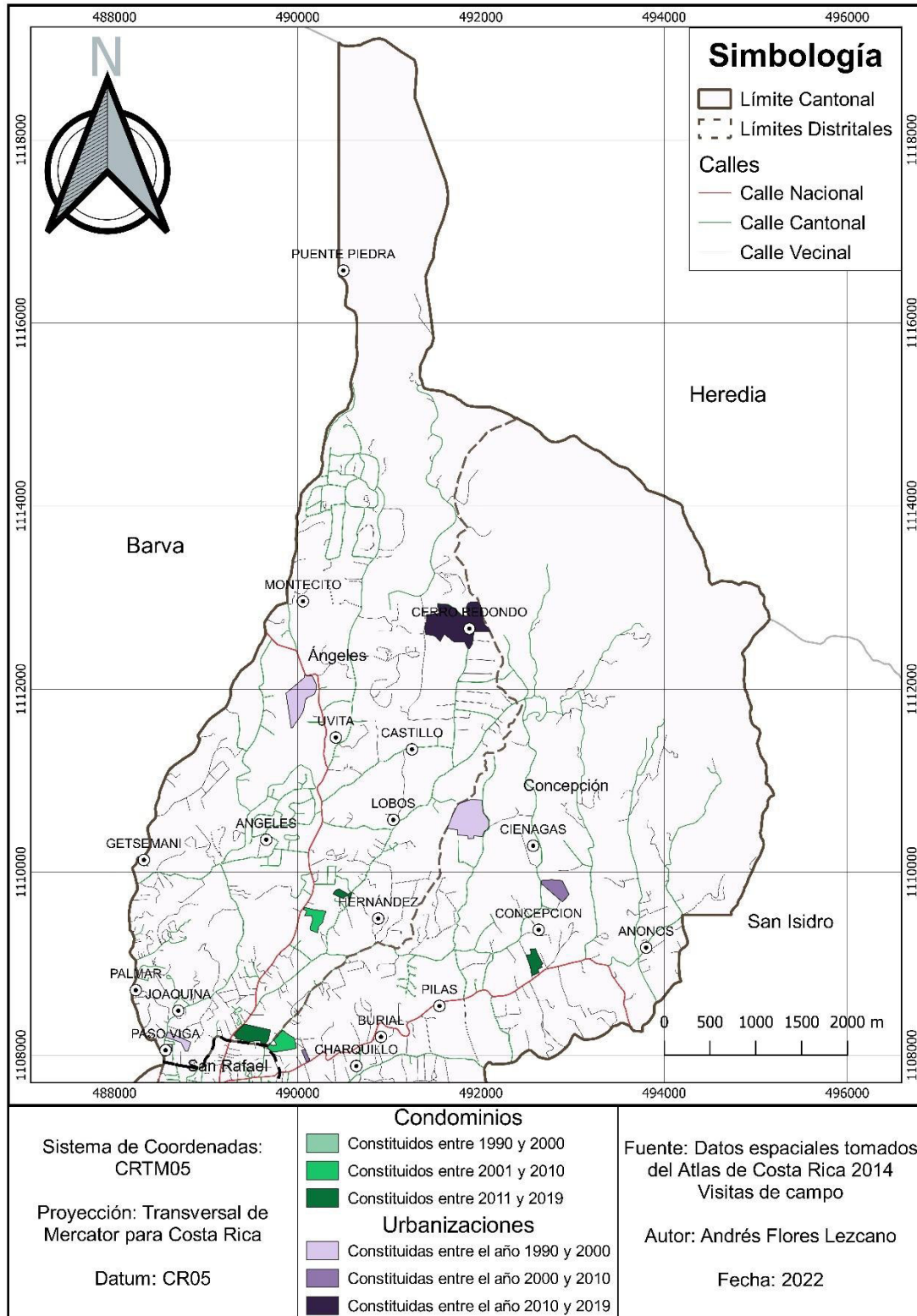


Figura 37. Proyectos urbanísticos constituidos en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2), entre 1990 y 2019

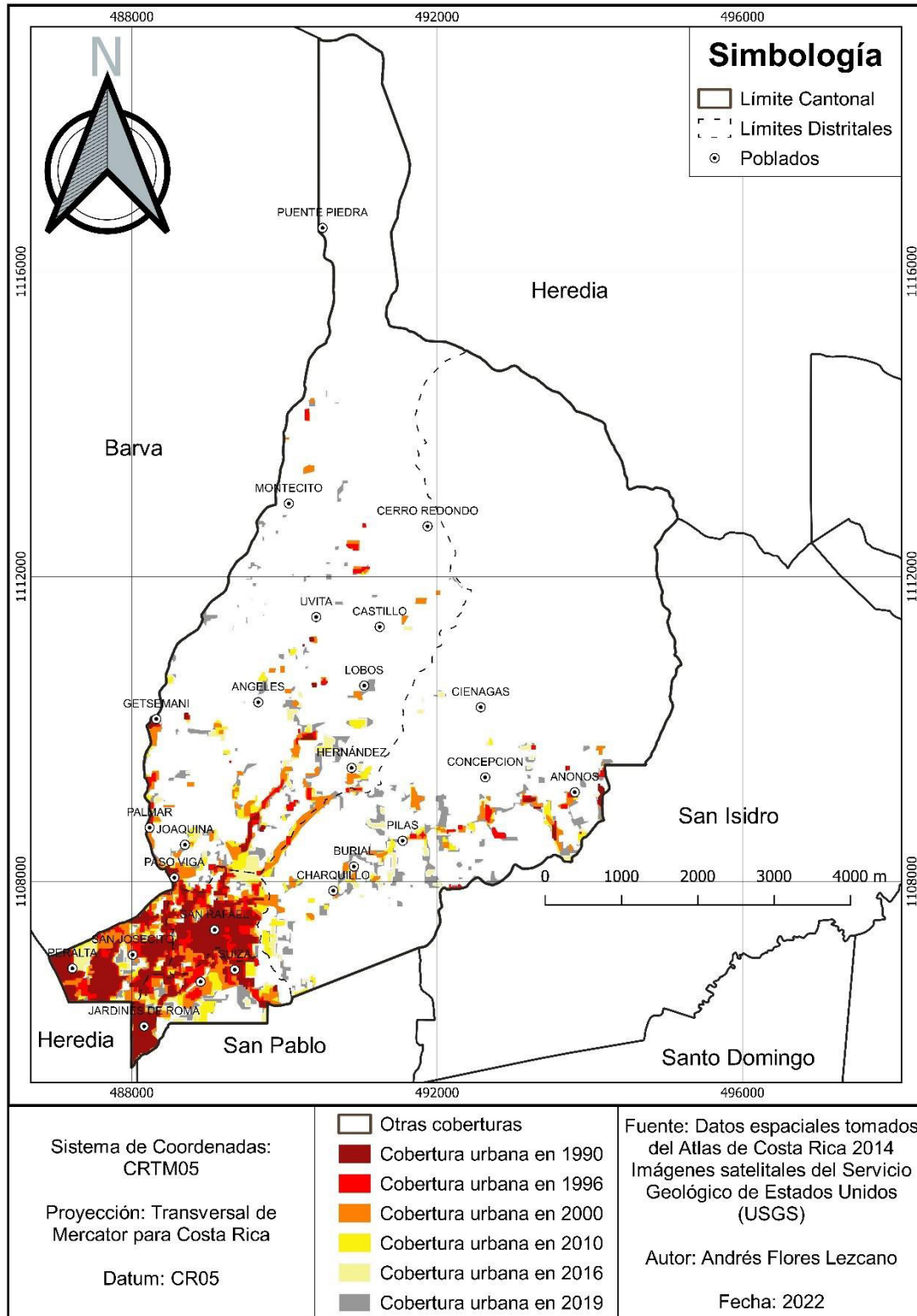


Figura 38. Cambio ocurrido en la cobertura urbana en el cantón de San Rafael entre 1990 y 2019

Con base en los resultados obtenidos, en ambas zonas se encuentra una concordancia con la afirmación de que los condominios por sí mismos generan

fragmentación urbana, pues inciden en la modificación del entramado urbano de cada una de las zonas analizadas, limitando la continuidad vial y de servicios, al mismo tiempo que se convierten en pequeños núcleos dispersos de población.

En total, en el cantón de San Rafael se construyeron en el intervalo de estudio 18 desarrollos privados de tipo condominio residencial, con marcadas barreras tanto físicas como sociales, con construcciones y acceso a servicios de manera diferenciada, de acuerdo al poder adquisitivo de los habitantes de los condominios. Además, el estudio cronológico de la cobertura urbana y de la construcción de proyectos urbanísticos permite identificar que 11 proyectos urbanísticos de tipo condominio residencial se realizaron sobre terrenos que en 1990 tenían una cobertura de vegetación densa, los cuales abarcan un total de 30 ha.

La proliferación de comunidades cerradas en el cantón de San Rafael mediante la figura del condominio residencial concuerda con la entrada en vigencia de la Ley Reguladora de la Propiedad en Condominio (Ley N° 7933), la cual se aprobó en el año 1999. Esta ley trajo consigo una serie de condiciones que incentivaron el desarrollo de este tipo de proyectos urbanísticos, como que, a diferencia de los proyectos de tipo urbanización, no tienen como requisito el ceder espacios públicos a los gobiernos locales, ofrecen una mayor seguridad y privacidad al no permitir el acceso público, y permiten administrar las áreas de esparcimiento sin intervención del gobierno local.

Antes de la entrada en vigencia de la Ley N° 7933, en el cantón de San Rafael se habían desarrollado 23 urbanizaciones y 2 condominios de tipo residencial, mientras que posterior al año 2000 se constituyeron 9 urbanizaciones y 16 comunidades cerradas.

Algunos de estos proyectos no están debidamente alineados con una planificación urbana de índole cantonal ni regional, pues se desarrollan fuera del anillo de contención urbana de la GAM, aun cuando la densidad poblacional no ha alcanzado niveles altos y existen terrenos disponibles aptos para este tipo de proyectos. En la propuesta de plan regulador del cantón de San Rafael, elaborada en el año 2005, se habla acerca de la alta densidad poblacional en los distritos de San Rafael, San Josecito y Santiago, los cuales se ubican dentro del anillo de contención urbana de la GAM. Sin embargo, esta información no concuerda con la descrita en el Cuadro 8 y la Figura 9, donde en varios sectores de estos distritos la densidad habitacional llega apenas a las 20 viv/ha, correspondiente a una densidad entre media y baja, según lo descrito en la propuesta de plan regulador, la cual se considera insuficiente para generar un correcto desarrollo de los grupos urbanos (Salom, 2011, pp. 323-324).

De igual manera, suponiendo una ocupación promedio de 5 personas por vivienda, una densidad poblacional media correspondería a 100 hab/ha y una densidad poblacional baja correspondería a 50 hab/ha. Utilizando las proyecciones poblacionales del INEC para el año 2019 se tiene que, si bien la población aumenta, esta es insuficiente incluso para sobrepasar la densidad poblacional media, como se muestra en el Cuadro 9 en la zona 1.

Retomando el apartado de los servicios públicos y el equipamiento disponible para la población, pese a que en ambas zonas existen este tipo de instalaciones, son muy pocas si se toma en consideración la cantidad de urbanizaciones y condominios que se encuentran actualmente en el cantón de San Rafael. Esta carencia en el acceso a equipamiento y espacios públicos es

más pronunciada si se compara contra la disponibilidad de estos dentro de las comunidades cerradas.

En la Figura 39 y la Figura 40 se muestra la ubicación de los espacios recreativos públicos disponibles en el cantón de San Rafael. Si bien en la zona 1 se encuentran a distancias inferiores a los 600 m de los proyectos urbanísticos existentes en el cantón, la proporción de espacios para la cantidad de habitantes es poca, ya que, de acuerdo con la Política Nacional de Ordenamiento Territorial 2012-2040 (MIVAH, 2013, p. 27), se busca alcanzar un promedio de 10 m<sup>2</sup> de espacio público por cada habitante, y en la zona urbana del cantón de San Rafael se cuenta únicamente con un área de 2,20 m<sup>2</sup> por habitante. En la zona 2 se repite lo mencionado en el Cuadro 17, ya que los sitios de esparcimiento se ubican en los centros poblacionales de las cabeceras de los distritos y a distancias superiores a 1,5 km del resto de la población, incumpliendo un parámetro como el dispuesto en el artículo 63, inciso 1, del Reglamento de Fraccionamiento y Urbanizaciones, el cual establece que los juegos infantiles no se deben encontrar a distancias mayores a los 300 m de la casa más alejada.



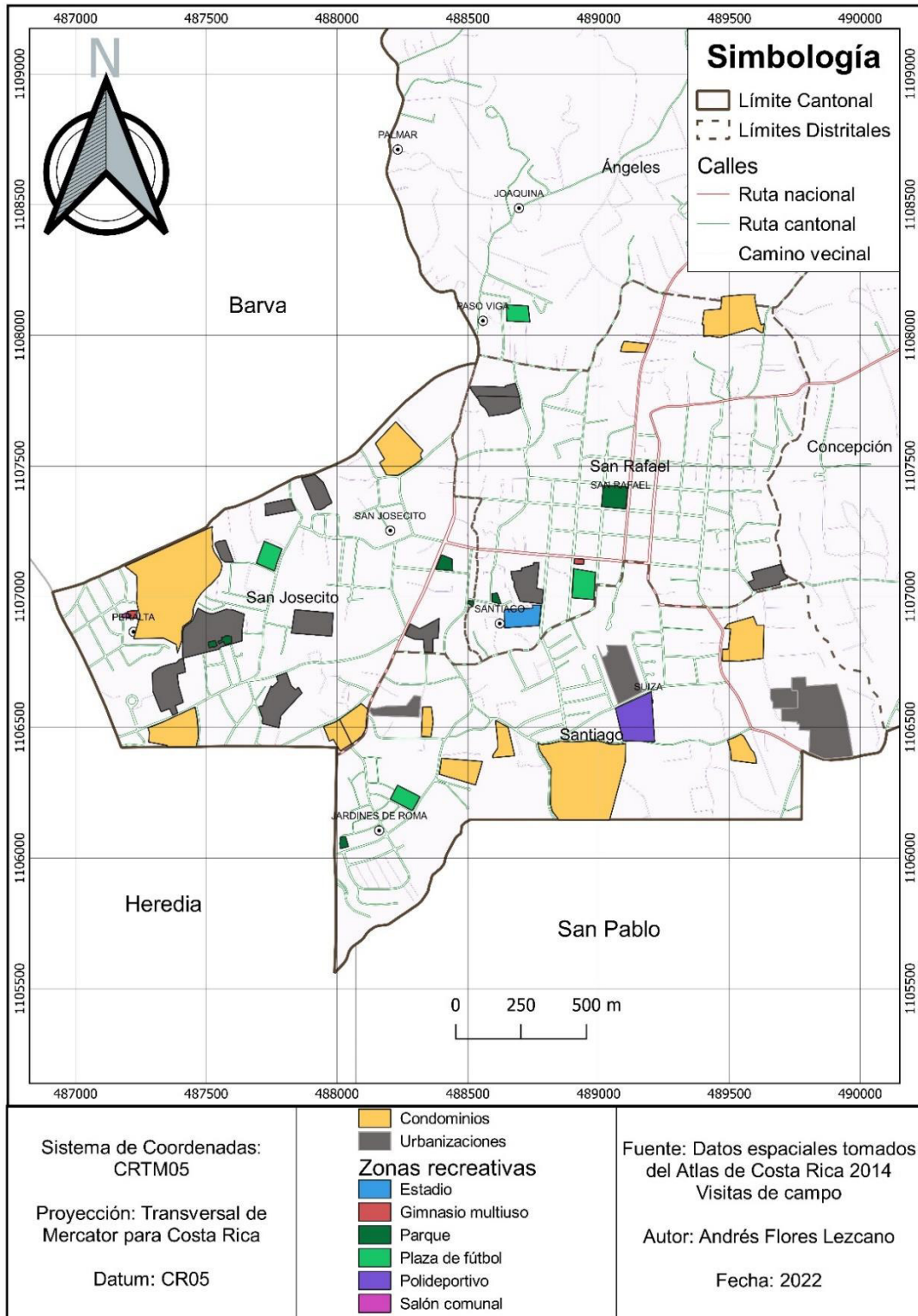


Figura 39. Áreas públicas recreativas y proyectos urbanísticos desarrollados en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1)

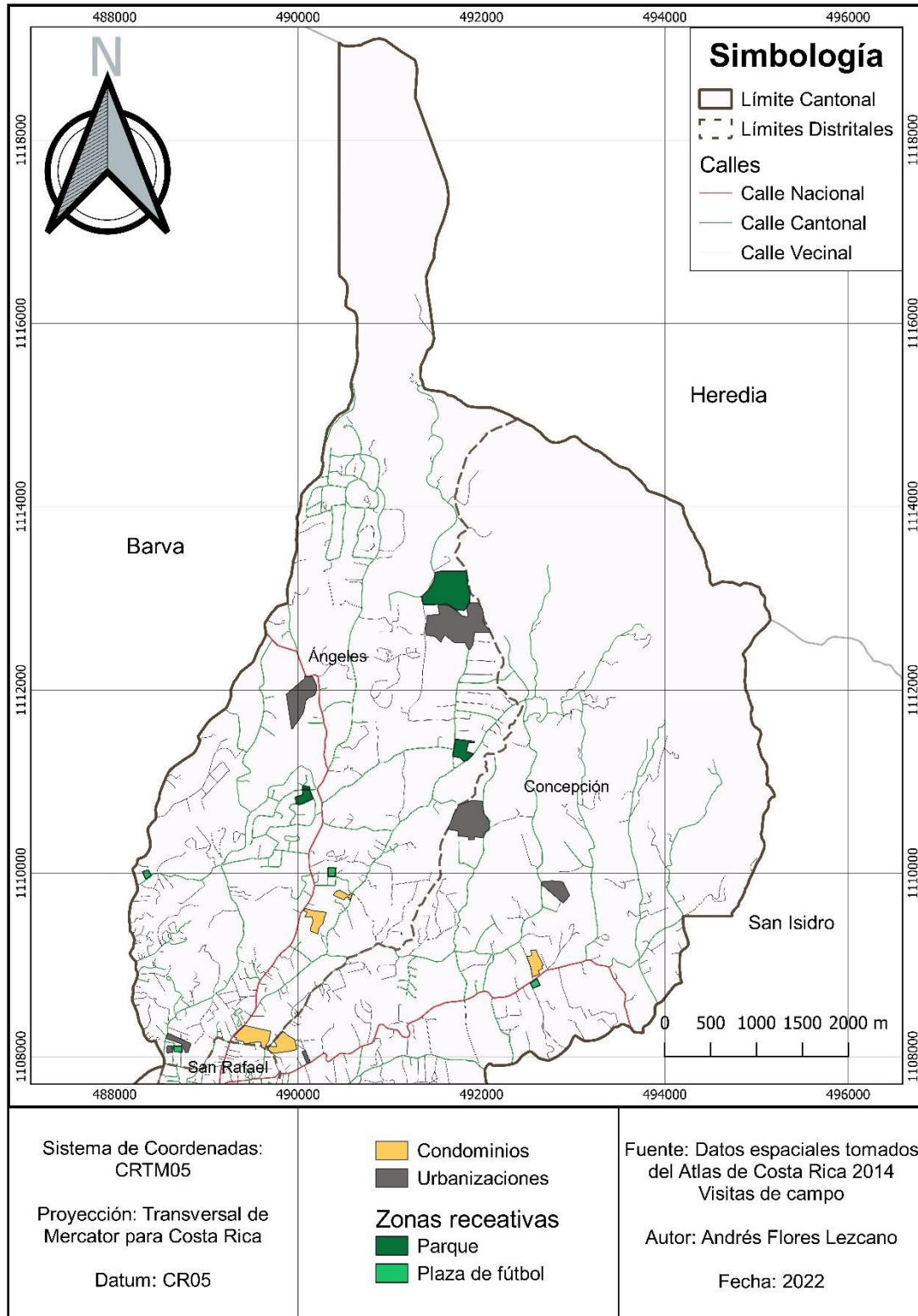


Figura 40. Áreas públicas recreativas y proyectos urbanísticos desarrollados en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2)

Por todo lo anterior, se concluye que existe fragmentación urbana tanto en la zona 1 como en la zona 2, debido a la constitución de condominios de tipo



residencial y la marcada diferencia en cuanto al acceso a servicios, equipamiento urbano y sistema vial, entre los habitantes de las comunidades cerradas con respecto a los que habitan fuera de ellas.

#### 4.4. Factores incidentes en el fenómeno de la fragmentación urbana

La misma división del cantón de San Rafael empleada para comprobar la existencia de fragmentación urbana se utilizó para determinar los factores que incidieron para que dicho proceso ocurriera, debido a la diferencia de condiciones que presentan ambas zonas.

En la zona 1 se evaluaron los siguientes factores: valor del terreno, inseguridad ciudadana, aprovechamiento del espacio, desarrollo y tamaño de los condominios y equipamiento urbano.

En la zona 2 se evaluaron los siguientes factores: valor del terreno, inseguridad ciudadana, aplicación de normativas, desarrollo y tamaño de los condominios y equipamiento urbano.

Cabe destacar que en la zona 1 se analiza el aprovechamiento del espacio ya que, como se mencionó anteriormente, en el distrito de Santiago se encuentran terrenos con un posible potencial para desarrollo urbanístico y, en general, en el área urbana de San Rafael la densidad poblacional se mantiene en niveles de densidad media, incumpliendo lo planteado en la propuesta de plan regulador, donde se menciona que se da un desarrollo hacia la parte norte del cantón debido a una presunta alta densidad poblacional.

Por otra parte, la zona 2 se encuentra fuera del anillo de contención urbana que establece el Plan GAM 2013, por lo tanto, en la zona rural del cantón se evaluó el factor de cumplimiento de la normativa, pues teóricamente no deberían desarrollarse condominios de tipo residencial fuera del anillo de contención, debido a que no se contempla como una zona de expansión urbana.

#### 4.4.1. Zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1)

- Valor del terreno

Luego de traer a valor presente los montos indicados en los mapas de zonas homogéneas correspondientes a los años 2008 y 2015, empleando para ello el índice de precios al consumidor, se pudo realizar la comparación con los valores de mercado obtenidos para terrenos sin construcción, con la finalidad de analizar si el desarrollo de proyectos urbanísticos de tipo condominio residencial influye de manera significativa en el valor del terreno sobre el cual se constituyó y los circundantes.

En esta zona hay un total de 13 condominios de tipo residencial y en la mayoría de los casos la delimitación de las zonas homogéneas comprende el área ocupada por estos, por lo que estas delimitaciones fueron las mismas que se utilizaron para determinar los valores de mercado. Únicamente en 3 casos la delimitación de las zonas homogéneas no coincide con el área abarcada por los condominios, dado que se constituyeron en fecha posterior al año 2015.

A partir de la información suministrada en el Cuadro 11, se procedió a calcular el promedio de la variación porcentual de los valores del terreno ( $\mu$ ) y su correspondiente desviación estándar ( $\sigma$ ) para los periodos 2008-2015 y 2015-2021. Para el periodo 2008-2015 se obtuvo un promedio de 103,70% en la

variación del valor del terreno, con una desviación estándar de 149,32%, mientras que para el periodo 2015-2021 se obtuvo un promedio de 57,86% y una desviación estándar de 92,39%.

Considerando que los valores del terreno y su variación porcentual en el tiempo se ajustan al comportamiento de una distribución normal, se establecen rangos de variaciones porcentuales a partir del promedio, como resultado central de la distribución de datos, sumando y restando una y dos veces la desviación estándar. Teóricamente, el rango definido por el promedio +/- una vez la desviación estándar agrupa a más del 68% de los datos, mientras que el rango definido por el promedio +/- dos veces la desviación estándar agrupa a más del 99% de los datos. En el Cuadro 18 se muestran los resultados que definen la distribución normal de la variación porcentual de los valores del terreno.

Cuadro 18. Parámetros estadísticos asociados a la variación porcentual de los valores del terreno en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1)

<b>Período</b>	<b><math>\mu - 2\sigma</math></b>	<b><math>\mu - \sigma</math></b>	<b>Promedio (<math>\mu</math>)</b>	<b><math>\mu + \sigma</math></b>	<b><math>\mu + 2\sigma</math></b>
2008-2015	-194,94%	-45,62%	103,70%	253,03%	402,35%
2015-2021	-126,92%	-34,53%	57,86%	150,25%	242,64%

A partir de la información presentada en el Cuadro 11 y el Cuadro 18, se identificaron los intervalos en los que se encuentran los condominios constituidos durante cada periodo.

En el periodo 2008-2015 se constituyeron 6 condominios de tipo residencial. De estos, la mitad reflejó una variación porcentual del valor del terreno superior al promedio, pero dentro del primer rango ( $\mu + \sigma$ ); estos condominios se caracterizan por poseer filiales con capacidad para 4 habitantes, piscina, ranchos y gimnasio de uso común.

En el segundo rango ( $\mu + 2\sigma$ ) se encuentra el Condominio Vila del Sendero, el cual se caracteriza por poseer una gran extensión, con más de 300 filiales, cancha de fútbol 5, ranchos y grandes extensiones de terreno dedicadas a juegos infantiles.

Finalmente, por encima del segundo rango (más de dos veces la desviación estándar sobre el promedio) se encuentran dos condominios. En el caso del Condominio Alta Vista, se trata de dos torres de apartamentos y, al igual que el Condominio Flor de Itabos, su construcción se destaca por sus acabados de lujo.

En el periodo 2015-2021 se constituyeron 3 nuevos condominios de tipo residencial en la zona 1, todos ellos con variaciones porcentuales en el valor del terreno por encima del segundo rango (más de dos veces la desviación estándar sobre el promedio). Estos condominios se ubican en cada uno de los tres distritos que componen la zona y se caracterizan por poseer apartamentos con acabados lujosos, canchas de tenis, piscinas, gimnasios, canchas multiusos y grandes espacios destinados a juegos infantiles y área para mascotas.

Por todo lo anterior, se puede afirmar que los condominios modifican el comportamiento del mercado de bienes inmuebles, incrementando el valor de los terrenos en una medida superior a la que se presenta en otros espacios. Esta situación provoca segregación social al generar el desplazamiento de las personas que históricamente han ocupado esos terrenos, debido al alza en el valor de los terrenos y por ende de los impuestos municipales. Esto último a su vez genera fragmentación del espacio, pues, en muchos casos, las personas que han sido desplazadas se trasladan a otros sitios donde el valor de los

terrenos sea menor y más accesible, que en algunos casos pueden ser zonas rurales; este proceso se conoce como gentrificación.

Por lo tanto, en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1) el valor del terreno es un factor que incide en el proceso de fragmentación urbana.

- Inseguridad ciudadana

Para evaluar este factor se analizó la distribución espacial de los delitos registrados en los años 2010, 2015 y 2019, en función de la ubicación de los condominios de tipo residencial y su área de influencia, definida en un espacio de 200 m alrededor de los condominios. El análisis no incluye fechas previas debido a la falta de información georreferenciada.

En la Figura 41, la Figura 42 y la Figura 43 se muestran las distribuciones espaciales de la criminalidad registrada en los años 2010, 2015 y 2019 en la zona 1, mediante mapas de calor de delitos, y en el Cuadro 19 se resume cronológicamente el registro de criminalidad reportada en el área de influencia de cada uno de los condominios de tipo residencial ubicados en esta zona.

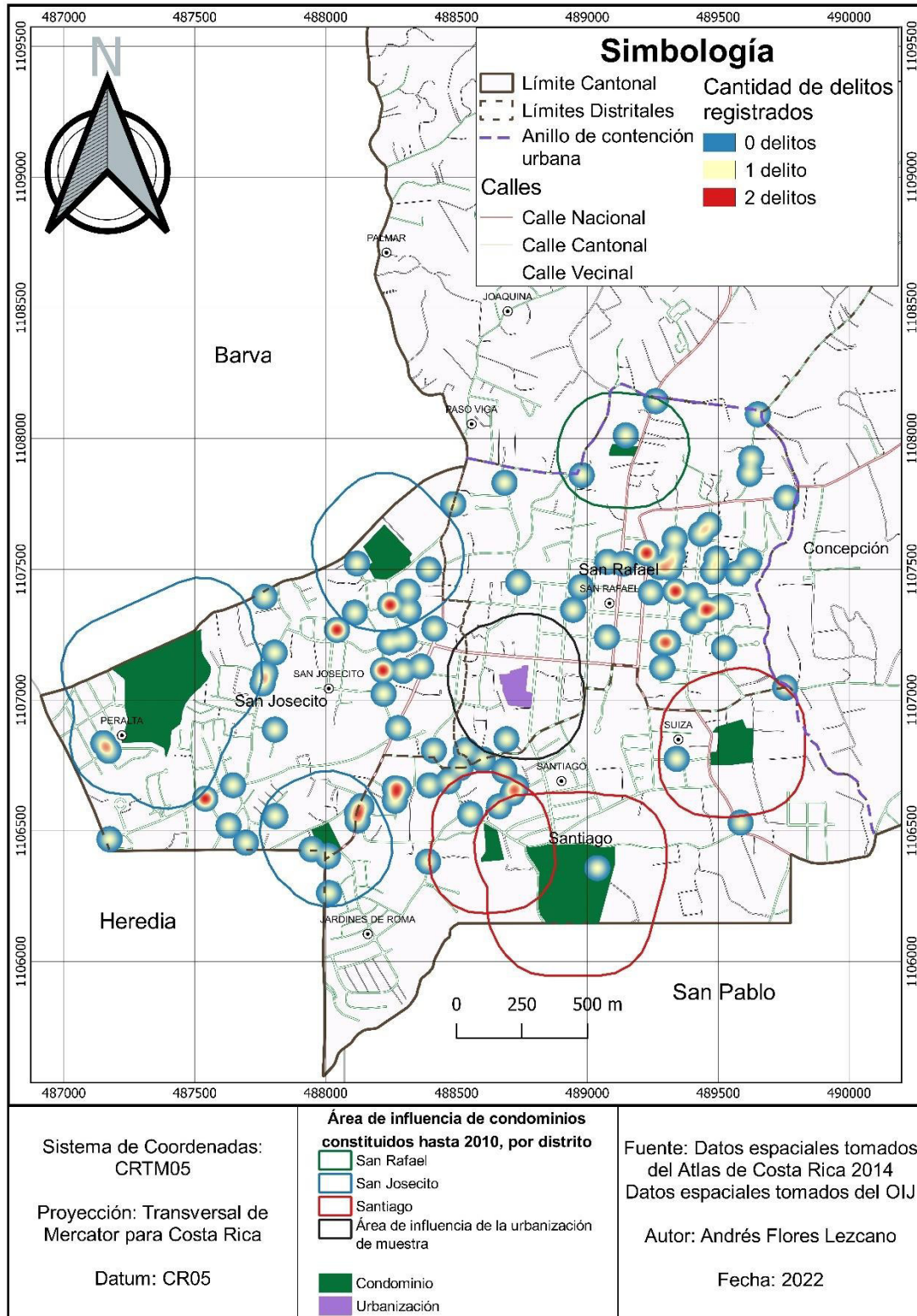


Figura 41. Mapa de calor de delitos reportados en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1) en el año 2010

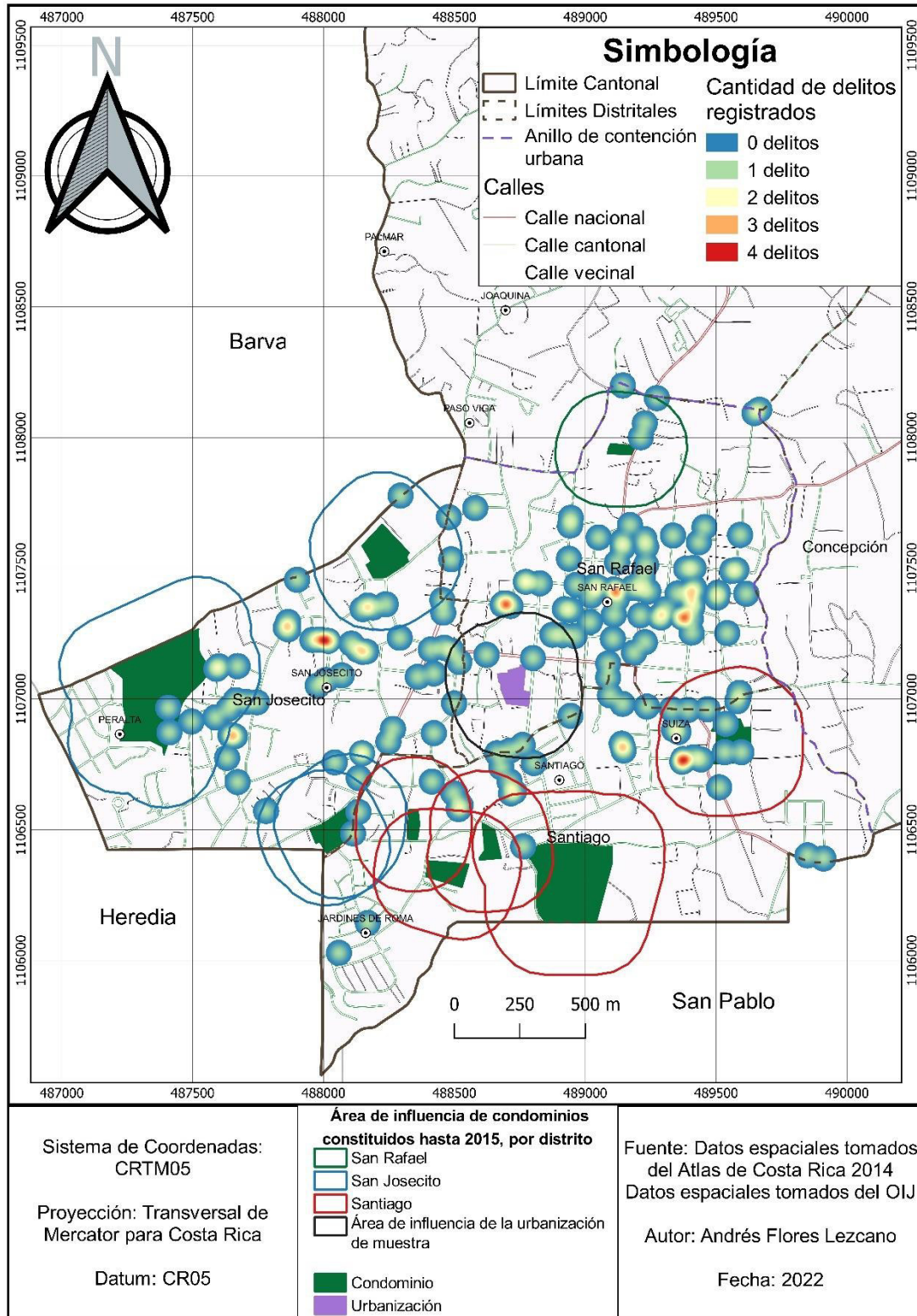


Figura 42. Mapa de calor de delitos reportados en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1) en el año 2015



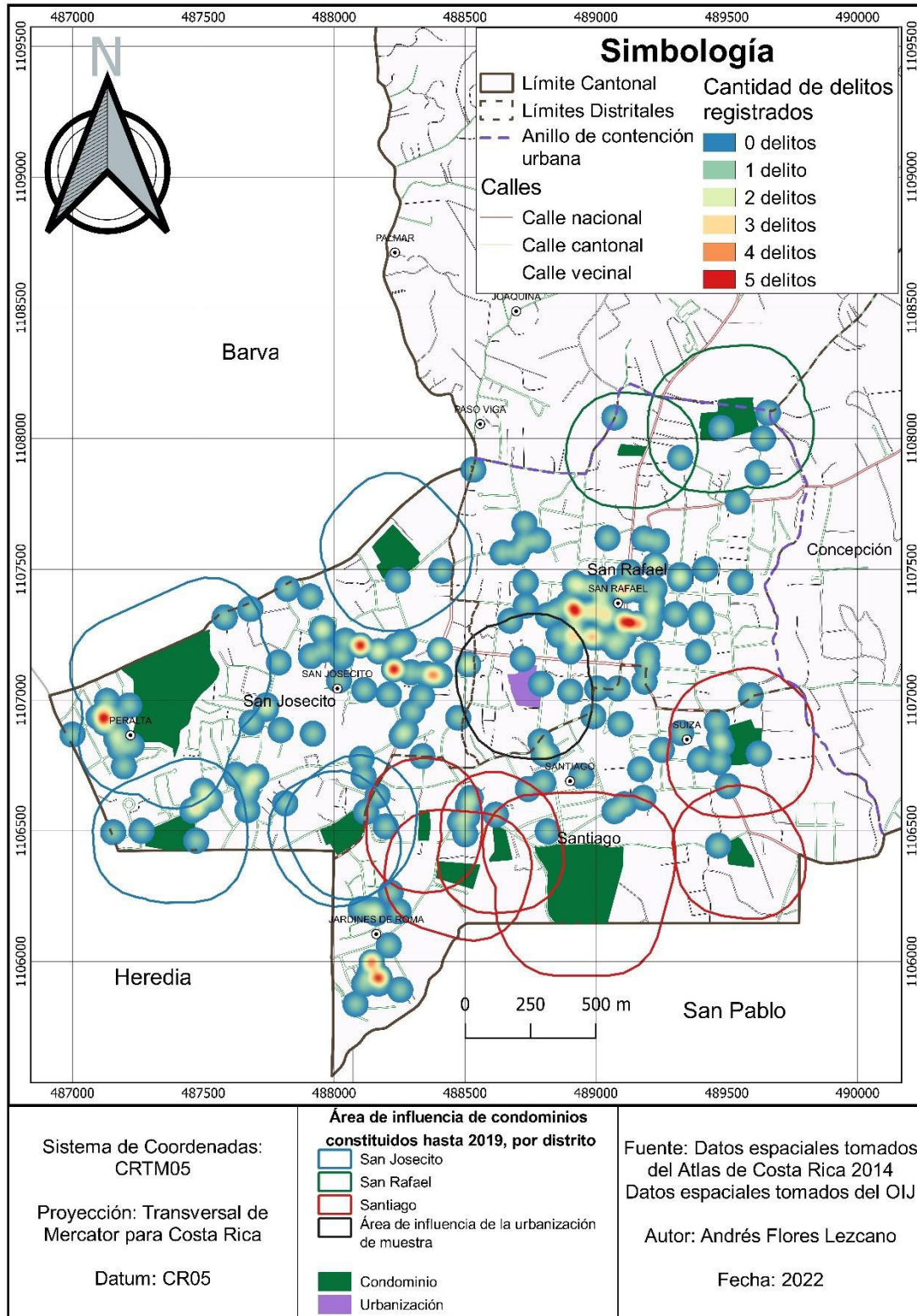


Figura 43. Mapa de calor de delitos reportados en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1) en el año 2019



Cuadro 19. Delitos registrados en el área de influencia de los condominios de tipo residencial de la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1) en los años 2010, 2015 y 2019

Condominio	Cantidad de delitos por año			Distrito
	2010	2015	2019	
Condominio Vistas de San Rafael	4	3	4	San Rafael
Condominio La Quinta	3	3	2	
Condominio Vila del Sendero	2	10	16	San Josecito
Condominio Altos de Heredia	3	0	8	
Condominio Alta Vista	9	3	5	
Condominio Vista Sol	5	3	4	
Condominio Las Angarillas	6	8	2	
Condominio Altos de Palermo	2	1	4	Santiago
Condominio Barcelona	1	0	2	
Condominio Malinche San Rafael	2	15	9	
Condominio Vantaa	8	5	7	
Condominio Flor de Itabos	2	0	5	
Condominio Mar de Plata	4	7	8	

Los espacios sombreados en el Cuadro 19 representan que el condominio todavía no existía en el año estudiado. A lo anterior se agrega lo ocurrido en la Urbanización La Rosa y su área de influencia, espacios utilizados como parámetro de comparación, donde en el año 2010 se registró un único delito, pero se presentaron aumentos significativos para los años 2015 y 2019, con 11 y 15 delitos registrados, respectivamente. Esta situación evidencia que la urbanización y su área de influencia se vieron afectadas por su cercanía al casco central del cantón de San Rafael, donde la criminalidad ha ido en aumento con el paso de los años.

Es importante destacar que los datos obtenidos para las áreas de influencia de los condominios y la urbanización utilizada como muestra, no son lo suficientemente consistentes, dado que los datos corresponden a delitos reportados y no a la totalidad de los delitos que ocurren, además de que estos no se encuentran georreferenciados correctamente.

Sin embargo, se puede afirmar que, en lo que respecta a los condominios situados en el distrito de San Rafael (Condominio Vistas de San Rafael y Condominio La Quinta), no se presentan mayores cambios en la cantidad de delitos reportados entre 2010 y 2019. Esto puede atribuirse a su cercanía con las partes rurales del cantón, al ubicarse en colindancia con la zona 2, por lo que no se han visto afectados por el aumento de la criminalidad en el casco central del cantón.

En el área de influencia de los condominios Vila del Sendero, Alta Vista, Malinche San Rafael, Vantaa y Flor de Itabos, se presenta un comportamiento similar entre sí, dado que se ubican en lugares donde luego de su constitución la criminalidad disminuyó, pero en fechas posteriores la misma aumentó de manera sostenida. Esto se puede relacionar con el supuesto de una sensación de seguridad generada por los condominios en sus entornos, la cual luego de un tiempo se perdió, provocando el aumento en los delitos registrados.

En el área de influencia del Condominio Altos de Heredia, ubicado en el distrito de San Josecito, se puede interpretar que la criminalidad aumenta tras la construcción del desarrollo residencial, pero este crecimiento no se puede atribuir con certeza al desarrollo de este proyecto, debido a que se constituyó en el mismo año 2019.

Los condominios Altos de Palermo y Barcelona, situados ambos en el distrito de Santiago, aparentan estar ubicados en zonas históricamente de baja criminalidad, con una cantidad de delitos reportados inferior a los 4 delitos por año, por lo cual se determina que la constitución de ambos condominios no genera un cambio significativo en la inseguridad en sus áreas de influencia.

En el área de influencia de los condominios Vista Sol, Las Angarillas y Mar de Plata, no se evidencia un cambio significativo en la cantidad de delitos ocurridos a lo largo de los tres años estudiados, por lo tanto, se deriva que la constitución de estos condominios no ha tenido influencia significativa en la criminalidad de la zona.

Dadas las circunstancias analizadas, el factor de inseguridad ciudadana parece no ser influyente en el fenómeno de fragmentación urbana en la zona urbana del cantón de San Rafael y, además, los datos no demuestran una correspondencia causal directa con la proliferación de condominios en la zona.

- Aprovechamiento del espacio

Para el análisis del aprovechamiento de los espacios disponibles en la zona urbana del cantón de San Rafael, es necesario recordar el diagnóstico descrito por el gobierno local en cuanto a la densidad poblacional, donde se menciona que los tres distritos que componen la zona 1 presentan altas densidades urbanas. Al respecto, en el Cuadro 8 y el Cuadro 9, correspondientes a los datos poblacionales del año 2011 y la proyección poblacional para el año 2019, no se evidencia que esta afirmación sea correcta.

El análisis se enfoca en tres zonas identificadas en la Figura 34, ubicadas en el distrito de Santiago, las cuales poseen extensiones de terreno que se ubican en los espacios identificados en la Figura 27 como con pendientes entre 0% y 15%, espacios que la Municipalidad de San Rafael (2005) describe como terrenos aptos para actividades urbanas y, por ende, el desarrollo de proyectos urbanísticos de tipo residencial.

En lo que respecta a la hidrología de la zona, en los tres espacios mencionados se da la presencia de cuerpos de agua superficial, pero estos afectan de manera reducida la topografía de las zonas cercanas. Además, no hay presencia de fuentes y sitios de captación, y los pozos más cercanos se ubican hacia el sur del distrito de Santiago, colindando con el cantón de San Pablo, como se muestra en la Figura 30, lo que no imposibilita que el resto del terreno pueda ser aprovechado para fines urbanísticos.

Finalmente, luego de tomar en cuenta los datos demográficos, de cobertura urbana y vegetal, de pendientes e hidrológicos, se determina que los sitios disponibles identificados en el distrito de Santiago cuentan con las condiciones físicas adecuadas y no poseen restricciones en cuanto a normativa urbana para ser aprovechados en el desarrollo de proyectos habitacionales en pequeña o en gran escala, incluso haciendo innecesario el establecimiento de comunidades cerradas fuera del anillo de contención urbana, bajo las condiciones actuales. Por tanto, se puede afirmar que el mal aprovechamiento de los espacios disponibles es un factor que influye en la fragmentación urbana de la zona 1.

- Tamaño de los condominios y continuidad vial

Por lo general, existe una relación proporcional entre el tamaño de un condominio y la cantidad de personas que habitan en el mismo, quienes usualmente cuentan con los medios para trasladarse fuera del condominio con su vehículo personal. Si a esto se suma el hecho de que la mayoría de comunidades cerradas se diseñan con una sola entrada y salida, es claro que la existencia de un condominio genera problemas de congestionamiento vial en la zona en la que se asienta.

Esta situación se presenta en la zona 1, donde los 13 condominios existentes poseen un solo acceso y la mayoría de sus colindancias cuentan con cierre perimetral, lo que provoca que tampoco se puede salir de los mismos a pie. A estos hechos se agrega que las vías externas que sirven de acceso no son modificadas para absorber el nuevo flujo vehicular, por lo cual en situaciones donde los horarios tienen a coincidir, como a la hora de salida de niños hacia los centros educativos y de personas adultas hacia sus trabajos, el congestionamiento vial se agrava, no solo para quienes viven en el condominio, sino también para las personas que habitan en sus alrededores.

En lo que se refiere a la continuidad vial, se pueden analizar situaciones en concreto, donde, por ejemplo, un habitante del Condominio Vila del Sendero podría dirigirse hacia la delegación policial que se encuentra en el mismo distrito y, de no ser por la tapia que divide el condominio del resto de la comunidad en su parte oeste, se podría llegar en pocos minutos, pero por esta falta de conexión el desplazamiento podría incluso ser mayor a un kilómetro de distancia y es probable que se haga en vehículo.

Otro ejemplo podría darse en el Condominio Las Angarillas, donde quienes viven más hacia el norte podrían acceder de una manera rápida al cantón de Barva, pero la falta de continuidad vial y las barreras físicas entre el condominio y su entorno ocasionan que el desplazamiento sea mucho mayor al de una persona que vive fuera del condominio.

En una familia que haya decidido habitar en el Condominio Mar del Plata por motivos de seguridad, podría haber un niño con un amigo que resida en la casa contigua, pero cruzando la barrera divisoria entre el condominio y la comunidad vecina, y por esta división las relaciones sociales entre ambos se

complicarían, no solo por el hecho de habitar en espacios diferenciados, sino por los desplazamientos que deben realizar por la falta de conexión entre las calles internas del condominio y las calles de la comunidad colindante. Este ejemplo ilustra los problemas de segregación residencial expuestos previamente por van Lidth de Jeude y Schütte (2013).

Este tipo de situaciones también afectan a los habitantes cercanos a desarrollos habitacionales privados, debido al área que abarcan estos y a la falta de conexión vial. Por ejemplo, los vecinos al norte y sur del Condominio Altos del Palermo se ven obligados a caminar por su colindancia para llegar al sitio contrario, atravesando espacios con zonas boscosas o terrenos vacíos, donde no se da un desarrollo habitacional considerable y que, por consiguiente, podría hacerlos más vulnerables a ser víctimas de delitos.

Por lo tanto, debido a la falta de conexión vial, los desplazamientos que esta genera, la falta de más accesos a los condominios y la limitada adaptación de las calles públicas que conectan a los condominios con respecto al flujo vehicular, se concluye que el tamaño de los condominios y la falta de continuidad vial son factores influyentes en la fragmentación urbana en la zona urbana del cantón de San Rafael (zona 1).

- Equipamiento urbano

Para el análisis de este factor se tomó como base lo expuesto al respecto en el Cuadro 16. Aquí se profundiza en la situación que se vive en las urbanizaciones y el resto de la zona 1, en contraste con lo que se presenta en el interior de los condominios.

Si bien las urbanizaciones cuentan con espacios destinados a facilidades comunales, estos espacios no se encuentran correctamente delimitados espacialmente, carecen de equipamiento o no tienen el equipamiento adecuado.

El equipamiento disponible para el público general en la zona urbana del cantón de San Rafael se compone de canchas de fútbol, polideportivos, pequeños parques con zonas verdes, un gimnasio municipal para la práctica de deportes grupales bajo techo y un salón comunal. La ubicación de estos espacios públicos se puede observar en la Figura 39.

A lo interno de los condominios de la zona se encuentran a disposición de sus habitantes espacios recreativos como centros de acondicionamiento físico, piscinas, espacios correctamente demarcados para el disfrute de niños y de mascotas con el equipamiento adecuado y en buen estado, espacios para realizar reuniones y actividades privadas y canchas para la práctica de diversos deportes al aire libre. La disponibilidad de este tipo de amenidades en espacios seguros y constantemente vigilados son un atractivo para que más personas quieran optar por vivir en comunidades cerradas.

Los espacios públicos recreativos en la zona urbana del cantón de San Rafael no cuentan con el equipo y espacio adecuados para el disfrute y aprovechamiento de los mismos, siendo que se trata de espacios reducidos en proporción a la población que deben atender y con una oferta limitada en cuanto a la variedad de deportes que permiten practicar.

Como consecuencia de esta realidad, se fomenta el desplazamiento de personas hacia comunidades cerradas, lo que dificulta la consolidación de

espacios recreativos públicos. Por lo tanto, el equipamiento urbano es un factor incidente en la fragmentación urbana en la zona urbana de San Rafael.

#### 4.4.2. Zona rural del cantón de San Rafael (zona 2)

- Valor del terreno

En esta zona se han constituido un total de 5 condominios de tipo residencial y en la mayoría de los casos la delimitación de las zonas homogéneas comprende el área ocupada por estos, por lo que estas delimitaciones fueron las mismas que se utilizaron para determinar los valores de mercado. Únicamente en 2 casos la delimitación de las zonas homogéneas no coincide con el área abarcada por los condominios, motivo por el que se plantearon subdivisiones de las zonas homogéneas en estos casos, para el último periodo estudiado.

Al igual que en la zona 1, a partir de la información suministrada en el Cuadro 11, se procedió a calcular el promedio de la variación porcentual de los valores del terreno ( $\mu$ ) y su correspondiente desviación estándar ( $\sigma$ ), para los periodos 2008-2015 y 2015-2021. Para el periodo 2008-2015 se obtuvo un promedio de 70,19% en la variación del valor del terreno, con una desviación estándar de 105,65%, mientras que para el período 2015-2021 se obtuvo un promedio de 78,13% y una desviación estándar de 93,66%.

Al igual que en la zona 1, se tomó en consideración la distribución normal de los datos para establecer rangos de variaciones porcentuales a partir del promedio, como resultado central de la distribución de datos, sumando y restando una y dos veces la desviación estándar. En el Cuadro 20 se muestran los resultados que definen la distribución normal de la variación porcentual de los valores del terreno.



Cuadro 20. Parámetros estadísticos asociados a la variación porcentual de los valores del terreno en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2)

<b>Período</b>	<b><math>\mu - 2\sigma</math></b>	<b><math>\mu - \sigma</math></b>	<b>Promedio (<math>\mu</math>)</b>	<b><math>\mu + \sigma</math></b>	<b><math>\mu + 2\sigma</math></b>
2008-2015	-141,10%	-35,46%	70,19%	175,84%	281,49%
2015-2021	-109,20%	-15,53%	78,13%	171,80%	265,46%

A partir de la información presentada en el Cuadro 11 y el Cuadro 20, se identificaron los intervalos en los que se encuentran los condominios constituidos durante cada periodo.

En el periodo 2008-2015 se constituyeron 3 condominios de tipo residencial, dos de ellos presentan una variación porcentual del valor del terreno superior al promedio dentro del segundo rango, entre ( $\mu + \sigma$ ) y ( $\mu + 2\sigma$ ); estos condominios se caracterizan por poseer calles adoquinadas y grandes espacios para el disfrute, como juegos infantiles, ranchos para el desarrollo de actividades y piscinas; además de que poseen un diseño constructivo en dos niveles por vivienda.

Con una variación porcentual por encima del segundo rango (más de dos veces la desviación estándar sobre el promedio) se encuentra una comunidad cerrada en colindancia con el distrito de San Rafael, cuyas instalaciones gozan de calles adoquinadas y varias zonas de juegos infantiles.

Antes del 2008 ya se habían constituido otros dos condominios de tipo residencial en la zona 2, uno en cada uno de los distritos que la componen, y debido a la notoria variación en los valores del terreno por el surgimiento de estos desarrollos, se planteó la creación de dos nuevas zonas homogéneas, a partir del área que comprenden los dos condominios en cuestión.

Uno de ellos presenta una variación porcentual del valor del terreno superior al promedio dentro del segundo rango, entre  $(\mu + \sigma)$  y  $(\mu + 2\sigma)$ , y se caracteriza por poseer terrenos de grandes extensiones, piscina, canchas de diversos deportes y grandes espacios con zonas verdes para el disfrute de los condóminos. El restante condominio se encuentra por encima del segundo rango (más de dos veces la desviación estándar sobre el promedio) y también se caracteriza por ofrecer terrenos de grandes extensiones, distintos espacios para el esparcimiento y la plusvalía de ubicarse cercano a grandes extensiones de bosque.

De forma similar a lo indicado para la zona 1, en la parte rural del cantón de San Rafael es posible identificar la forma en que los condominios modifican el comportamiento del valor del terreno, generando grandes variaciones porcentuales. Estos terrenos, usualmente empleados para actividades agropecuarias y alejados de las zonas más urbanas del cantón, son habitados en su mayoría por personas originarias del lugar, que por el alza en el valor de los terrenos podrían verse forzados a abandonar la zona en busca de sitios más asequibles, los cuales no siempre son los indicados desde la óptica del ordenamiento territorial.

Por lo tanto, se puede afirmar que el valor del terreno en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2) es un factor que incide en el proceso de fragmentación urbana, dada la segregación social ocasionada por el alza en el valor de los terrenos y el potencial desplazamiento de poblaciones originarias.

- Inseguridad ciudadana

El análisis de la inseguridad ciudadana en la zona rural del cantón de San Rafael se ejecutó de la misma forma que en la zona urbana.

En la Figura 44, la Figura 45 y la Figura 46 se muestran la distribuciones espaciales de la criminalidad registrada en los años 2010, 2015 y 2019 en la zona 2, mediante mapas de calor de delitos, y en el Cuadro 21 se resume cronológicamente el registro de criminalidad reportada en el área de influencia de cada uno de los condominios de tipo residencial ubicados en esta zona.

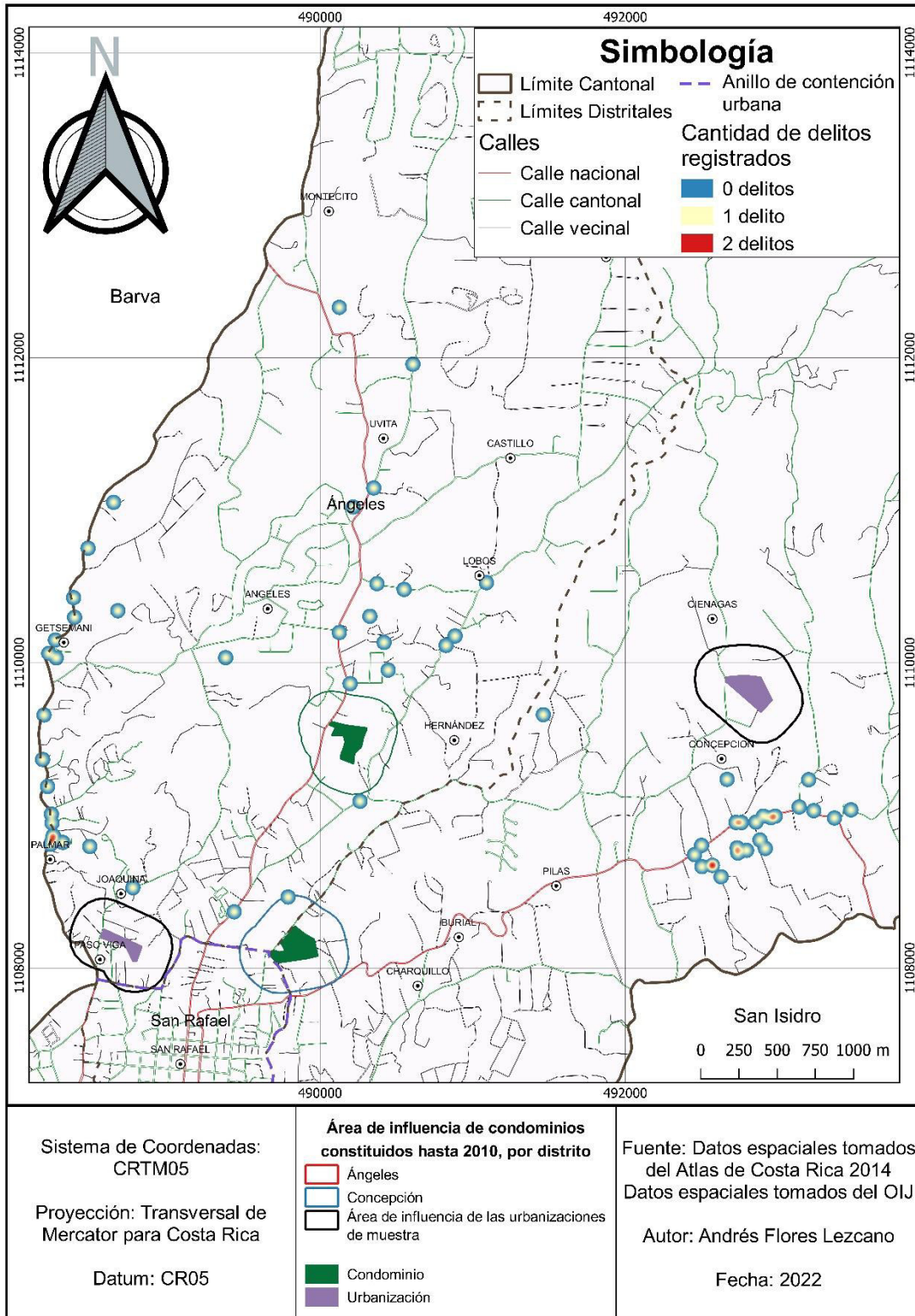


Figura 44. Mapa de calor de delitos reportados en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2) en el año 2010

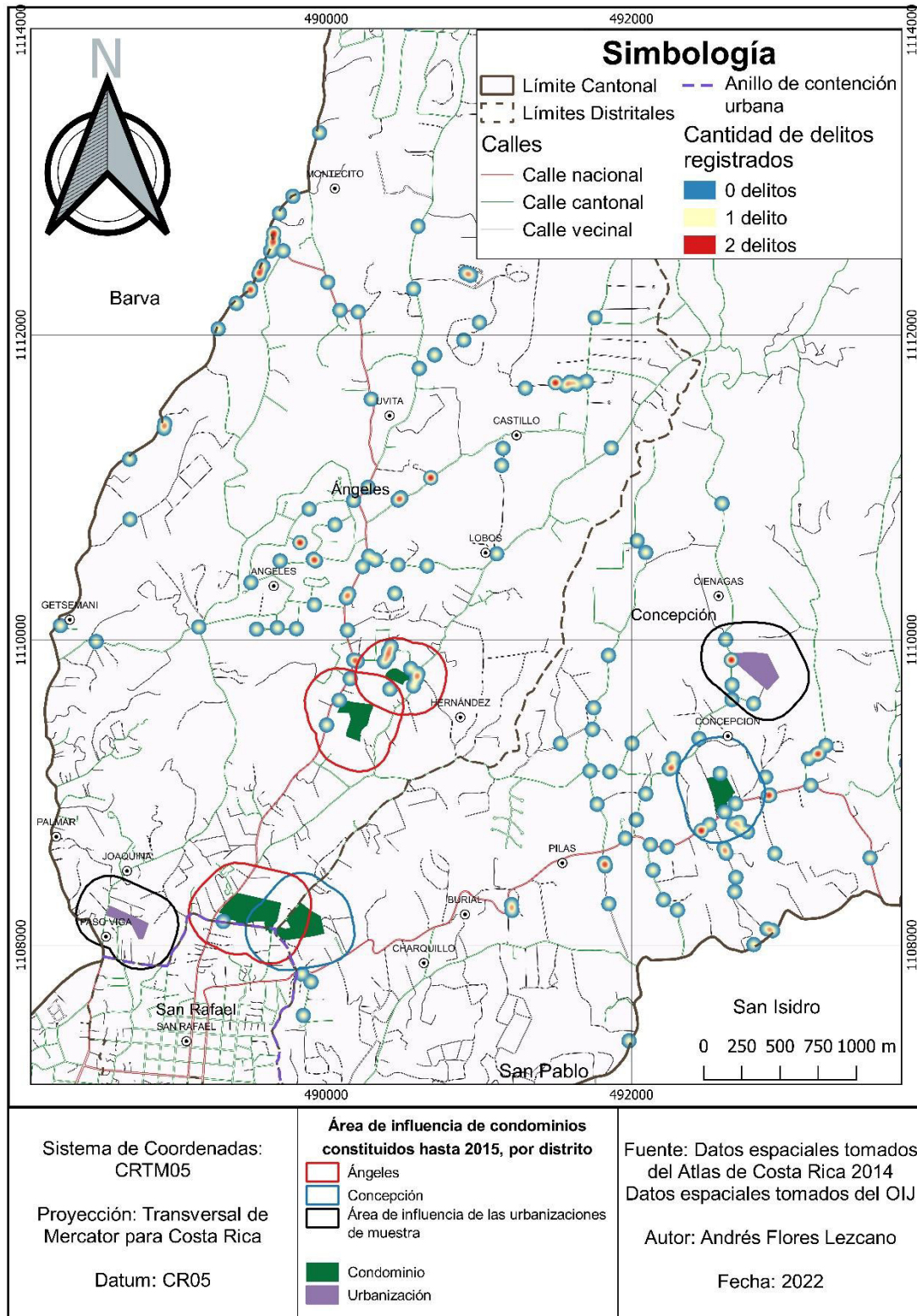


Figura 45. Mapa de calor de delitos reportados en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2) en el año 2015



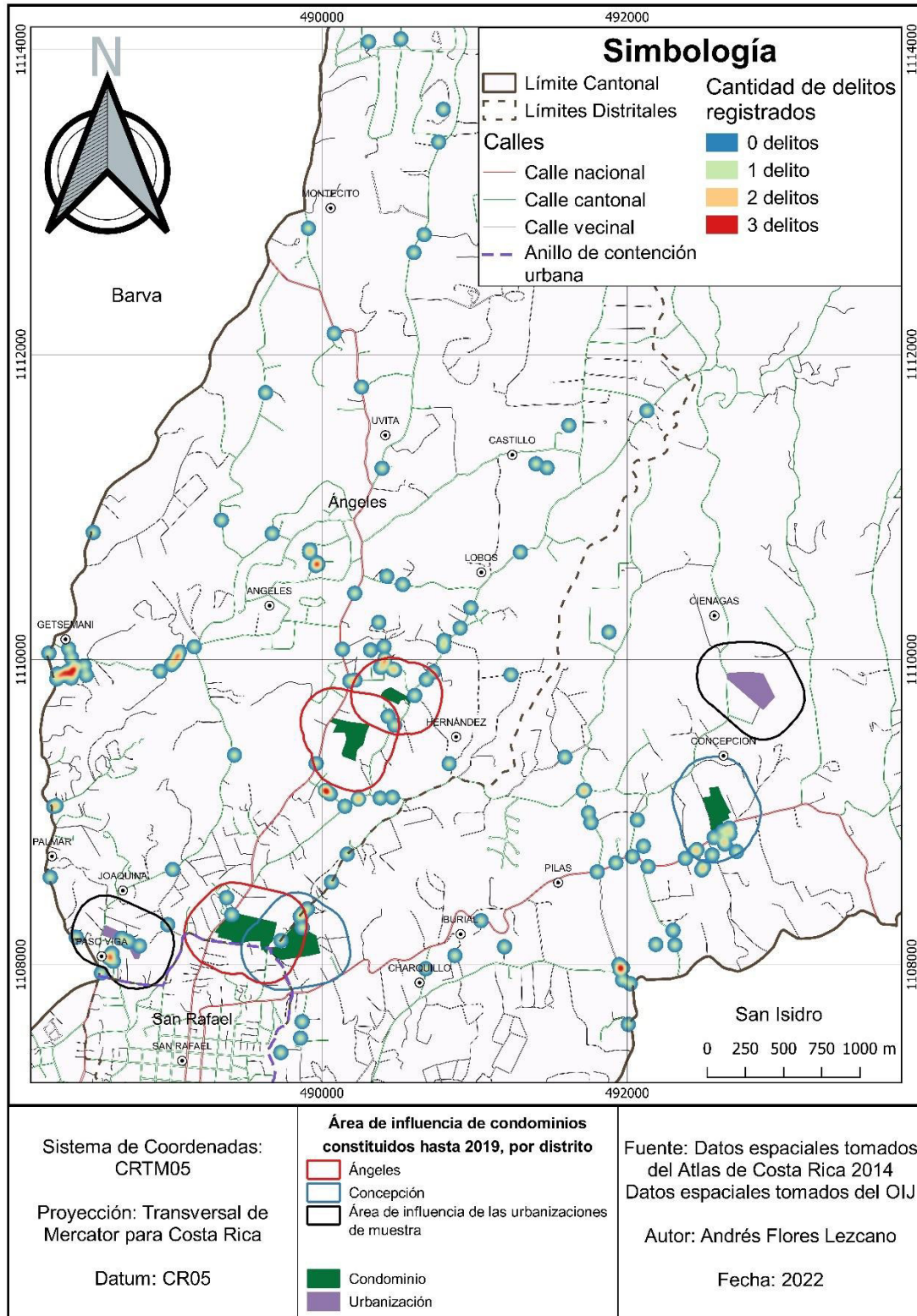


Figura 46. Mapa de calor de delitos reportados en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2) en el año 2019

Cuadro 21. Delitos registrados en el área de influencia de los condominios de tipo residencial de la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2) en los años 2010, 2015 y 2019

Condominio	Cantidad de delitos por año			Distrito
	2010	2015	2019	
Condominio Loma Flores	0	3	3	Ángeles
Condominio Brisas del Ciprés	1	9	10	
Condominio Bello Verde	1	1	6	
Condominio Lomas del Castillo	1	0	5	Concepción
Condominio La Inmaculada	9	8	10	

Los espacios sombreados en el Cuadro 21 representan que el condominio todavía no existía en el año estudiado. A lo anterior se agrega lo ocurrido en las urbanizaciones utilizadas como parámetro de comparación.

En la Urbanización Malekus y su área de influencia, situadas en el distrito de Ángeles, no se reportaron delitos en los años 2010 y 2015 y se registraron 5 delitos en el año 2019; esta situación evidencia que la urbanización y su área de influencia presentan cambios significativos, pero se asocian a que su entorno se vio afectado por su cercanía con la zona urbana del cantón de San Rafael. Por otra parte, en el entorno de la Urbanización Residencial La Tilapia no se reportaron delitos en el año 2010, luego se registraron 5 en el año 2015 y finalmente el reporte de crímenes bajó hasta 1 en el año 2019. De lo anterior, se puede afirmar que el cambio en la criminalidad no es alarmante en esta zona.

Al igual que en la zona 1, es importante mencionar que los datos obtenidos para las áreas de influencia de los condominios y las urbanizaciones utilizadas como muestra no son lo suficientemente consistentes, debido a la cantidad de datos disponibles, el subregistro de criminalidad y el año a partir del cual se cuenta con información georreferenciada.

En el área de influencia del Condominio Loma Flores se presenta una baja criminalidad en los años analizados, y aunque no se puede afirmar que esto se deba a la presencia del condominio, pues data de años anteriores, sí se puede interpretar que este desarrollo urbanístico no ha incrementado la inseguridad en su entorno.

En el área de influencia del Condominio Bello Verde la criminalidad registrada presentó cambios en fechas posteriores a la constitución del desarrollo habitacional, y el aumento registrado en el año 2019 podría haberse visto afectado también por la presencia del condominio como a la cercanía de este con la zona urbana del cantón y la creciente criminalidad que en ella se presenta.

En el área de influencia del Condominio Brisas del Ciprés la criminalidad aumenta tras su constitución de forma preocupante, ya que se pasó de un crimen reportado en el año 2010 hasta los 9 y 10 delitos reportados en los años 2015 y 2019, respectivamente, pero este cambio puede verse influenciado por su cercanía con la cabecera del distrito de Ángeles, donde se ubican la mayoría de los delitos reportados en este sector.

En el área de influencia del Condominio Lomas del Castillo aumentó la cantidad de delitos reportados, pero la cantidad de crímenes no es alta y tampoco puede atribuirse únicamente y con certeza al condominio, debido a su cercanía con la zona urbana del cantón, donde se muestra el principal aumento en la criminalidad del cantón.

Finalmente, el área de influencia del Condominio La Inmaculada se ve afectada por la cercanía de la cabecera del distrito de Concepción, donde se



localizan la mayoría de los delitos reportados en este sector. A lo anterior se puede agregar que, aunque se presentan varios delitos registrados en los años analizados, no se dio un cambio significativo en la criminalidad al constituirse el condominio.

Con base en lo descrito en los párrafos anteriores, se puede afirmar que la inseguridad ciudadana en la zona rural del cantón de San Rafael es un factor influyente en el proceso de fragmentación urbana, ya que, más allá de la inseguridad real, la percepción de inseguridad sí podría ser un motivo para la proliferación de condominios, generando un círculo vicioso que provoca que cada vez sean más las personas dispuestas a habitar en comunidades cerradas en búsqueda de espacios más seguros.

Además, como se observa en los mapas de calor, los delitos reportados en esta zona se presentan mayormente en los núcleos urbanos situados frente a las principales vías, lo que afectó el comportamiento de la criminalidad en las zonas circundantes a las comunidades cerradas que se ubican cerca de estos centros urbanos.

- Cumplimiento de la normativa urbana

Para iniciar el análisis de este factor, se recalca que el anillo de contención urbana definido en el Plan GAM 82, consolidado en el Plan GAM 2013, tiene como finalidad delimitar el área donde se permite el desarrollo de actividades urbanas, contemplando aspectos como el económico, el social, el ambiental, la hidrología, las características demográficas, turismo, entre otros. En el Plan GAM 2013 (MIVAH, 2013, p. A-201) se establece que en las zonas ubicadas fuera del anillo de contención urbana los terrenos han sido mayormente destinados a fines

agropecuarios y han servido como amortiguadores de contaminación para las zonas boscosas.

En la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2) se identifica que a lo largo del periodo que abarca del año 2000 al año 2019 se ha dado el desarrollo de 5 condominios de tipo residencial, sin embargo, para el análisis de este factor se tomaron en cuenta únicamente los 3 desarrollos habitacionales que se encuentran alejados de la zona urbana del cantón. Este tipo de proyectos habitacionales a gran escala son permitidos únicamente a lo interno del anillo de contención urbana.

De igual manera, como se identificó en el análisis del valor del terreno, este tipo de desarrollos inciden en esta variable en los terrenos que previamente han sido ocupados por usos agropecuarios y que, como bien menciona el MIVAH (2013, p. A-201), el cambio en el comportamiento del valor del terreno provoca que los pobladores originales se vean desplazados y ocupen en muchos casos nuevos espacios que fragmentan aún más los centros de población consolidados previamente establecidos.

Otro aspecto a recalcar es la falta de una regulación urbana enfocada a la situación específica que se vive en el cantón de San Rafael, donde no existe todavía un plan regulador urbano en el mismo, aun cuando la Ley de Planificación Urbana entró en vigencia hace más de 50 años, precisamente en el año 1968, y la misma dicta la necesidad de que los gobiernos locales cuenten con una reglamentación propia enfocada en las características de su territorio, con miras a un mejor ordenamiento y zonificación del territorio.

En lo que respecta a la delimitación de las zonas de recarga hídrica, estas no han sido delimitadas de manera correcta y mediante cartografía oficial, como lo dicta el artículo 33 de la Ley Forestal, lo que representa otro desacato a la legislación vigente. La inexistencia de una delimitación correcta reduce la capacidad de control y gestión de los recursos y del territorio por parte de las instituciones encargadas, dando pie a la consolidación de proyectos urbanísticos en espacios de suma importancia para el resguardo del recurso hídrico.

El hecho de que los condominios sean regulados por la Ley Reguladora de la Propiedad en Condominio permite que estos no tengan obligatoriedad de generar continuidad en el entramado de sus vías internas con las que se encuentran fuera de ellos, lo cual puede entorpecer el ordenamiento territorial y la movilidad urbana, sin posibilidad de contar con rutas alternas y provocando mayor congestión vial, así como grandes desplazamientos para acceder a lugares geográficamente cercanos, que a su vez incentiva el uso de vehículos individuales por sobre el transporte público.

Después de considerar todos los aspectos anteriores, es posible afirmar que, más que el cumplimiento de la normativa urbana, el (in)cumplimiento de la normativa urbana es un factor que incide de manera directa en la generación de fragmentación urbana en el cantón de San Rafael, a lo que se agrega la inexistencia de un plan regulador urbano que permita controlar el crecimiento urbano de una manera ordenada.

- Tamaño de los condominios y continuidad vial

En la zona rural del cantón de San Rafael se encuentran un total de 5 condominios, los cuales no abarcan grandes extensiones de terreno y, aunque

solo cuentan con un acceso, la baja cantidad de viviendas y, en consecuencia, de habitantes, no genera problemas de congestión vial como los que se presentan en la zona urbana.

Si bien se identifican algunos problemas de continuidad vial y existen tapias perimetrales que dividen los condominios del resto de las comunidades, las vías interrumpidas son pocas, ya que en su mayoría los condominios colindan con grandes espacios de cobertura vegetal. Esto hace que los vecinos de los alrededores no se vean afectados, en términos de conectividad, por la presencia del condominio. En este caso, los más afectados son los habitantes de los condominios, por los desplazamientos que deben hacer para acceder a ciertos servicios, debido a la lejanía de estas comunidades cerradas con respecto a los centros urbanos.

Por tanto, se concluye que en la zona rural del cantón de San Rafael (zona 2) el tamaño de los condominios existentes y la continuidad vial no son factores que hayan influido en la fragmentación urbana.

- Equipamiento urbano

Al igual que en la zona urbana del cantón, se realizó un análisis con mayor profundidad acerca de la variable de equipamiento urbano desarrollada en el Cuadro 17.

En general, la zona rural ofrece espacios públicos recreativos muy limitados en cuanto a cantidad y a las actividades que se pueden realizar en ellos. Se destacan parques como el Monte de la Cruz, que ofrece senderos y zonas de pícnic, con la condición de que el ingreso no es gratuito, y en los

principales centros urbanos se encuentran plazas de fútbol, lo cual se observa en la Figura 40.

Debido a que las urbanizaciones y los centros urbanos consolidados son pocos en esta zona, existen en medio de estos, otros poblados de menor tamaño, con mayor dificultad para sus habitantes de acceder a espacios recreativos cercanos. En el caso de las urbanizaciones, estas cuentan con espacios con zonas verdes, pero sin instalaciones o equipamiento adecuado para el disfrute de los habitantes.

En esta zona los condominios se caracterizan por poseer menos unidades habitacionales, pero más amplias, por lo que las facilidades que ofrecen cambian con respecto a los condominios ubicados en la zona urbana de San Rafael; por su extensión, cuentan con senderos internos, acceso a paisajes y vistas, piscinas y parques debidamente delimitados, protegidos y con instalaciones acondicionadas para el disfrute de sus habitantes.

Debido a la poca disponibilidad de espacios públicos recreativos, en cuanto a cantidad y a la distancia de desplazamiento requerida para su acceso, en contraposición con las amenidades disponibles para los habitantes de las comunidades cerradas, se considera que el equipamiento es un factor incidente en la fragmentación urbana en la zona 2 del cantón de San Rafael.



## Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

- Zona de estudio

El cantón de San Rafael de la provincia de Heredia se divide administrativamente en 5 distritos, 3 de ellos de carácter urbano y ubicados dentro del anillo de contención urbana de la GAM, mientras que los 2 restantes son de carácter rural y se ubican por fuera de dicha delimitación; siendo el distrito de San Josecito el de mayor densidad poblacional. Esta particularidad con respecto al anillo de contención urbana permitió dividir el cantón en dos zonas para analizar la fragmentación urbana: una zona urbana, denominada zona 1, y una zona rural, denominada zona 2.

Según datos del Censo 2011 elaborado por el INEC, más de la mitad de la población del cantón no posee ninguna necesidad básica insatisfecha y solo en una UGM habitan personas con 4 de ellas, que representan menos del 20% de la población que vive en dicha UGM.

En todo el cantón se encuentran un total de 50 proyectos residenciales, divididos en 18 condominios y 32 urbanizaciones. El cantón presenta variaciones considerables de un periodo a otro en el valor de los terrenos debido a la presencia de condominios, que se evidencian en el surgimiento de nuevas zonas homogéneas.

Los datos analizados en cuanto a criminalidad demuestran que los robos son el tipo de delito que predomina en el cantón, siendo el distrito de San Rafael el que presenta la mayor cantidad de sucesos.

El 57% del territorio del cantón cuenta con pendientes inferiores al 15%, por lo que la mayoría de su superficie puede ser aprovechada para el desarrollo de actividades urbanas, siempre que no se presente alguna otra restricción, como podría ser la delimitación de las zonas de recarga de acuíferos, dado que el cantón de San Rafael se ubica sobre 2 acuíferos que abastecen de agua a la mayor parte de la GAM.

Se logró evidenciar el aumento de la cobertura urbana en el cantón de San Rafael a lo largo de los 29 años que comprende la investigación, para un incremento 393%, mientras que la cobertura vegetal disminuyó en un 12,3%.

- Fragmentación urbana en el cantón de San Rafael

Considerando las variables de agrupación de viviendas, disponibilidad de servicios y equipamiento y sistema vial, todas ellas según se presentan dentro y fuera de los condominios, se determinó que la situación es similar en la zona urbana y en la zona rural. En ambas zonas es evidente que las condiciones son más favorables para quienes habitan dentro de las comunidades cerradas.

A lo anterior se agrega el aumento en el surgimiento de nuevos condominios residenciales, que por sí solos se constituyen en generadores de fragmentación urbana.

La proliferación de los condominios concuerda con la entrada en vigencia de la Ley Reguladora de la Propiedad en Condominio (Ley N° 7933), la cual ofrece una serie de ventajas al constituir proyectos urbanísticos de este tipo por encima del desarrollo de urbanizaciones. En el caso del cantón de San Rafael, se han ocupado para el desarrollo de condominios de tipo residencial un total 30



hectáreas de terreno que previamente contaban con una cobertura de vegetación densa.

De igual manera, las densidades medias y bajas presentes en el cantón no permiten el desarrollo de espacios urbanos consolidados y fomentan la fragmentación del espacio al ampliar la mancha urbana sin haber alcanzado primeramente una alta densidad poblacional antes de urbanizar espacios fuera de los núcleos urbanos.

- Factores incidentes y no incidentes en el proceso de fragmentación urbana

Habiendo dividido el cantón de San Rafael en dos zonas para el análisis de la fragmentación urbana y de los factores que posiblemente han incidido en este proceso, es posible afirmar que en la zona urbana (zona 1), han sido incidentes el valor del terreno, la falta de aprovechamiento del espacio, el tamaño de los condominios y su efecto en la continuidad vial, y la disponibilidad de equipamiento urbano, mientras que la inseguridad ciudadana no ha sido un factor incidente en la fragmentación urbana. En el caso de la zona rural (zona 2), es posible afirmar que han sido incidentes el valor del terreno, la inseguridad ciudadana, el incumplimiento de la normativa de ordenamiento territorial, y la disponibilidad de equipamiento urbano, mientras que el tamaño de los condominios y su efecto en la continuidad vial no han sido factores incidentes.

El valor del terreno es un factor incidente en la fragmentación urbana tanto en la zona 1 como en la zona 2 del cantón de San Rafael, debido a que los condominios han influenciado de manera directa el comportamiento de la variación porcentual en los valores y la delimitación de las zonas homogéneas.

En la zona 1 el aprovechamiento del espacio disponible y con potencial para el desarrollo urbano y la densificación poblacional no ha sido el correcto. Esto conlleva al desarrollo de nuevos proyectos urbanísticos en terrenos que en principio no son permitidos por la normativa urbana, provocando fragmentación urbana.

En el caso de la zona 2, el incumplimiento de la normativa incide de manera directa en la fragmentación, debido a la falta de una correcta zonificación del cantón en el marco de un plan regulador, así como al irrespeto de la normativa de ordenamiento territorial vigente, por ejemplo, el cumplimiento de lo que se permite y no desarrollar fuera del anillo de contención urbana.

Otro factor determinado como incidente en ambas zonas fue el de equipamiento urbano, esto debido a las graves carencias identificadas, con una cantidad limitada de espacios abiertos al público general, urbanizaciones sin el equipamiento adecuado y, en contraposición, comunidades cerradas con amenidades que atraen cada vez más a quienes viven fuera de ellos.

El factor del tamaño de los condominios y su efecto en la continuidad vial no se presentó de igual manera en ambas zonas. En la zona urbana es incidente en la fragmentación urbana, debido a que los condominios residenciales aquí constituidos solo presentan un acceso y las vías públicas con que se conectan no se adaptaron al tráfico vehicular generado por ellos, además de la segregación social provocada por las tapias perimetrales y la interrupción de la continuidad vial para contar con redundancias y nuevas conexiones en el entramado urbano. En la zona rural los condominios no intervienen significativamente en la continuidad vial y el congestionamiento vehicular, debido a que en su mayoría colindan con zonas boscosas y, si bien se repite la situación

de contar con un único acceso que obliga a desplazamientos considerables para acceder a servicios, estos condominios se encuentran en lugares con flujos vehiculares menores y se entiende que sus pobladores toman en cuenta estas mayores distancias por recorrer al realizar su elección de vivienda.

En lo que respecta a la inseguridad ciudadana, en la zona urbana se determinó que la constitución de condominios no ha influido de manera importante en la cantidad de delitos reportados en cada uno de los años estudiados en sus áreas de influencia, mientras que en la zona rural la constitución de nuevos condominios afectó el comportamiento de los delitos reportados en sus áreas de influencia, en fechas posteriores a su aparición. Es conocido que la percepción de inseguridad por el aumento en la cantidad de delitos reportados en zonas externas a las comunidades cerradas contribuye a la proliferación de estos desarrollos, lo cual podría ser la causa del aumento en la construcción de nuevas comunidades cerradas en la zona rural.

## 5.2. Recomendaciones

- Establecer un plan regulador con una zonificación acorde a las características del cantón, acompañado de una cartografía actualizada, que represente de forma más clara la información y en el sistema de coordenadas actual. Este plan regulador debe incluir pautas acerca del tamaño de los futuros condominios, para evitar un incremento en la fragmentación.
- Dar continuidad a los registros de criminalidad para disponer de una mayor cantidad de datos, de forma que sea posible realizar análisis similares en años posteriores, y que los mismos se encuentren alojados en una plataforma que sea de fácil consulta para la población interesada.

- Crear más espacios públicos debidamente equipados, así como dar mantenimiento y ofrecer mejoras en los espacios existentes.
- Realizar investigaciones acerca del índice de diferencia normalizada construida (NDBI), para determinar posibles modificaciones o adaptaciones al mismo con el fin de que sea aplicable a Costa Rica, o en su defecto, señalar los motivos por los cuales no debería ser aplicado.
- La metodología empleada en la presente investigación para la cuantificación de áreas con cobertura urbana y cobertura vegetal, para la determinación de la existencia o no de fragmentación urbana y, en caso de demostrarse lo anterior, la utilizada para identificar los factores incidentes y no incidentes en este fenómeno, podría ser replicada en los cantones de Barva, San Pablo y Santo Domingo, de la provincia de Heredia, y en los cantones de Moravia, Vázquez de Coronado y Goicoechea, de la provincia de San José, los cuales poseen un área urbana consolidada dentro del anillo de contención urbana y otra más rural fuera del anillo, con condominios constituidos fuera del anillo de contención urbana, las cuales son condiciones similares a las que existen en San Rafael; además, los cantones mencionados de la provincia de Heredia carecen de plan regulador.

## Referencias bibliográficas

- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio. (s. f.). Landsat 4-5. Recuperado 2 de octubre de 2021, de <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-4-5>
- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio. (s. f.). Landsat 7. Recuperado 2 de octubre de 2021, de <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-7>
- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio. (s. f.). Landsat 8. Recuperado 2 de octubre de 2021, de <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8>
- Agencia Espacial Europea. (2009). Firmas espectrales. Recuperado 17 de marzo de 2022, de [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_ES/SEM6DYD3GXF\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEM6DYD3GXF_0.html)
- Aguilera, P. y Valencia, H. (2017). *Imagen digital fija (Tratamiento informático de la información)* (1ª ed.). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=suwpDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=suwpDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Alonso, F. (2003). Correcciones a las imágenes de satélites. En *Teledetección* (pp. 79-88). Universidad de Murcia. Recuperado 12 de noviembre de 2020, de <https://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema07.pdf>
- Arias, M. (2022). 101 respuestas sobre el agua subterránea. Recuperado de <https://www.ucr.ac.cr/medios/documentos/2022/101respuestassobreaguasubteranea.pdf>
- Atienza, V. (s. f.). *El histograma de una imagen*. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado 11 de octubre de 2021, de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12711/El\\_histograma\\_una\\_imagen\\_digital.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12711/El_histograma_una_imagen_digital.pdf?sequence=1)
- Barañano, A. (2007). *Diccionario de relaciones interculturales* (1ª ed.). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=e613wvN22EoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=e613wvN22EoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Barrantes, K. (2019). Barrios 'conviviendo' con comunidades cerradas: entre el miedo y la segregación. Caso de la GAM-Costa Rica. *REVISTARQUIS*, 8 (2), 66-76. Recuperado de [https://www.academia.edu/39826399/Barrios\\_conviviendo\\_con\\_comunidades\\_cerradas\\_entre\\_el\\_miedo\\_y\\_la\\_segregaci%C3%B3n\\_Caso\\_de\\_la\\_GAM\\_Costa\\_Rica](https://www.academia.edu/39826399/Barrios_conviviendo_con_comunidades_cerradas_entre_el_miedo_y_la_segregaci%C3%B3n_Caso_de_la_GAM_Costa_Rica)

- Barrantes, K. (octubre de 2018). Miedo al crimen más allá de las murallas: ¿Son las comunidades cerradas un catalizador del miedo hacia los barrios más desiguales? El caso de Costa Rica. En: Rodiles, S. (Presidencia), XVI Convención Internacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo. Congreso llevado a cabo en La Habana, Cuba.
- Bravo, L. (1993). *Cambio social, criminalidad y control del crimen en Margarita, 1960-1986* (1ª ed.). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=JwrZeirlwMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=JwrZeirlwMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Cabrales, L. y Canosa, E. (2001). Segregación residencial y fragmentación urbana: Los fraccionamientos cerrados en Guadalajara. *Espiral, Estudios sobre Estado y sociedad*, 7 (20), 223-253. Recuperado de <http://www.espiral.cucsh.udg.mx/index.php/EEES/article/view/1191/1079>
- Contreras, Y., Castillo, O., & Sánchez, A. (2018). Manifestaciones de fragmentación urbana vinculadas a urbanizaciones cerradas: el caso del Municipio Metropolitano de Zinacantepec, Estado de México, 1990–2012. *Revista de Urbanismo*, 39, 1-15. <https://www.readcube.com/articles/10.5354%2F0717-5051.2018.51288>
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección ambiental* (3ª ed.). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=aKsNXCVtcQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=aKsNXCVtcQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Decreto ejecutivo N° 29375, Reglamento a la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos. Diario Oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 21 de marzo de 2001
- Decreto ejecutivo N° 38334, Plan GAM 2013-2030. Actualización del Plan Regional de la Gran Área Metropolitana. Diario Oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 10 de marzo de 2014
- Escolano-Utrilla, S., López-Escolano, C., & Pueyo-Campos, A. (2018). Urbanismo neoliberal y fragmentación urbana: el caso de Zaragoza (España) en los primeros quince años del siglo xxi. *Revista EURE - Revista de Estudios Urbano Regionales*, 44(132). <https://www.eure.cl/index.php/eure/article/view/2271/1086>
- Fernández, E. y García, M. (2008). *Gestión de la recarga artificial de acuíferos (M.A.R.)* (2ª ed.). Recuperado de

[https://books.google.co.cr/books?id=1e6WBAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=1e6WBAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Fonseca, X. (1991). *Las medidas de una casa* (1ª ed.). Recuperado de [https://www.academia.edu/8187322/Xavier\\_Fonseca\\_Las\\_Medidas\\_de\\_una\\_Casa](https://www.academia.edu/8187322/Xavier_Fonseca_Las_Medidas_de_una_Casa)

García, F., y Peralta, M. (2014). Urbanizaciones cerradas y su vinculación con el espacio exterior en la ciudad de Cali: una propuesta metodológica para su análisis. *Prospectiva*, 19.  
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/8217?locale-attribute=en>

Guzmán, A. y Hernández, K. (2013). La fragmentación urbana y la segregación social una aproximación conceptual. Legado de Arquitectura y Diseño. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 8 (14), 41-56. Recuperado de <https://legadodearquitecturaydiseno.uaemex.mx/article/view/14232/10832>

Habert, G. y Schlueter, A. (2016). *Expanding Boundaries: Systems Thinking in the Built Environment [Expansión de los límites: Pensamiento sistémico en el entorno construido]*. (1ª ed.). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=45HsDAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=45HsDAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Instituto Nacional de Estadística y Censo (2011) *Censo 2011*. San José: Instituto Nacional de Estadística y Censo

Instituto Nacional de Estadística y Censo (2016) *Estadísticas demográficas. 2011 – 2025. Proyecciones nacionales. Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia, cantón, distrito y sexo*. San José: Instituto Nacional de Estadística y Censo

Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU). (2020). Reglamento de Fraccionamientos y Urbanizaciones. Recuperado 7 de noviembre de 2020, de <https://www.invu.go.cr/documents/20181/32857/Reglamento+de+Fraccionamientos+y+Urbanizaciones>

Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU). (s. f.). Plan GAM 13 - 30. Recuperado 7 de febrero de 2021, de <https://www.invu.go.cr/plan-gam-13-30>

Kumar, P., Reza, H., Das, P. y Sankar, G. (2020). *Spatial Modeling in Forest Resources Management: Rural Livelihood and Sustainable Development [Modelización espacial en la gestión de recursos forestales: medios de vida rurales y*

- desarrollo sostenible*]. (1ª ed.). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=fgACEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=fgACEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Ley N° 4240, Ley de Planificación Urbana. Diario Oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 15 de noviembre de 1968
- Ley N° 7575, Ley Forestal. Diario Oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 13 de febrero de 1996
- Ley N° 7933, Ley Reguladora de la Propiedad en Condominio. Diario Oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 28 de octubre de 1999
- Lira, J. (2011). *Percepción remota* (2ª ed.). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=7FykAwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=7FykAwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Losilla, M. (2001). *Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central* (1ª ed.). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=utfSrl8xEIAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=utfSrl8xEIAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Luque, L. (2008). Mallas urbanas desplazadas teoría para el diseño de ciudades del siglo XXI. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional – Pontificia Universidad Javeriana.
- Madrigal, L. (2015, 9 marzo). Masiva tala de árboles en Heredia pone en peligro el agua del GAM. Recuperado 18 de noviembre de 2020, de [https://www.elmundo.cr/costa-rica/masiva-tala-de-arboles-en-heredia-pone-en-peligro-el-agua-del-gam/#:%7E:text=Heredia%2C%2009%20mar%20\(elmundo.,Gran%20%C3%81rea%20Metropolitana%20\(GAM\)](https://www.elmundo.cr/costa-rica/masiva-tala-de-arboles-en-heredia-pone-en-peligro-el-agua-del-gam/#:%7E:text=Heredia%2C%2009%20mar%20(elmundo.,Gran%20%C3%81rea%20Metropolitana%20(GAM))
- Meliá, J. (1991). *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: agricultura* (1ª ed.). Recuperado de [https://books.google.be/books?id=t8ZLSpM20m8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.be/books?id=t8ZLSpM20m8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Ministerio de Hacienda. (2008). *Mapa de valores de terrenos por zonas homogéneas. Provincia 4 Heredia. Cantón 05 San Rafael* [Mapa]. Recuperado de [https://www.hacienda.go.cr/docs/545cdf203220a\\_5.pdf](https://www.hacienda.go.cr/docs/545cdf203220a_5.pdf)



- Ministerio de Hacienda. (2014). Guía Técnica Actualización de las Plataformas de Valores de Terrenos por Zonas Homogéneas. Recuperado 9 de noviembre de 2020, de [https://www.hacienda.go.cr/docs/53f3714a144cd\\_guia%20tecnica.pdf](https://www.hacienda.go.cr/docs/53f3714a144cd_guia%20tecnica.pdf)
- Ministerio de Hacienda. (2015-a). Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva. Recuperado 9 de noviembre de 2020, de [https://www.hacienda.go.cr/docs/545ce523badcc\\_22.pdf](https://www.hacienda.go.cr/docs/545ce523badcc_22.pdf)
- Ministerio de Hacienda. (2015-b). *Mapa de valores de terrenos por zonas homogéneas. Provincia 4 Heredia. Cantón 05 San Rafael* [Mapa]. Recuperado de [https://www.hacienda.go.cr/docs/58123b272a5e1\\_Mapa%20del%20Canton%200San%20Rafael%2005%20Distrito%2001%20a%2005.pdf](https://www.hacienda.go.cr/docs/58123b272a5e1_Mapa%20del%20Canton%200San%20Rafael%2005%20Distrito%2001%20a%2005.pdf)
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. (2013). *Plan GAM 2013*. [https://www.mivah.go.cr/Documentos/PlanGAM2013/01-DIMENSIONES/Dimension\\_Ambiental.pdf](https://www.mivah.go.cr/Documentos/PlanGAM2013/01-DIMENSIONES/Dimension_Ambiental.pdf)
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. (2013). *Política Nacional de Ordenamiento Territorial 2012 - 2040*. [https://www.mivah.go.cr/Documentos/politicas\\_directrices\\_planes/pnot/PNOT\\_2012-2040.pdf](https://www.mivah.go.cr/Documentos/politicas_directrices_planes/pnot/PNOT_2012-2040.pdf)
- Morán, A (2014). Algoritmos para la corrección radiométrica de imágenes de satélite [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada]. Repositorio Instruccional - Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Municipalidad de San Rafael (2005). Plan Regulador Urbano San Rafael de Heredia.
- Nelson, S. y Khorram, S. (2018). *Image Processing and Data Analysis with ERDAS IMAGINE® [Procesamiento de imágenes y análisis de datos con ERDAS IMAGINE®]* (1ª ed.). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=H50DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=H50DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Organismo de Investigación Judicial (2018). *Manual de Usuario. Sistema de Estadísticas del OIJ*. Poder Judicial. Recuperado de <https://pjenlinea3.poder-judicial.go.cr/estadisticasoij/>
- Ortiz, E. (2014). *Atlas de Costa Rica 2014* [Conjunto de datos]. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6749?show=full>

- Pérez, K. (2018, 18 noviembre). Desde 1990 construcción de condominios y apartamentos en la GAM aumentó casi un 600%. *El Mundo CR*. Recuperado de <https://www.elmundo.cr>
- Pradhan, B. (2017). *Spatial Modeling and Assessment of Urban Form: Analysis of Urban Growth: From Sprawl to Compact Using Geospatial Data [Modelado espacial y evaluación de la forma urbana: análisis del crecimiento urbano: de la expansión a la compactación utilizando datos geoespaciales]* (1ª ed.). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=sWHTDgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=sWHTDgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Reglamento a la Ley N° 7575, Reglamento a la Ley Forestal. Diario Oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 23 de enero de 1997
- Reynolds, M., Pask, A., Mullan, D. y Chavez-Dulanto, P. (2012). *Fitomejoramiento fisiológico I: enfoques interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo* (1ª ed.). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=FgWhMhLxhzoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=FgWhMhLxhzoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Rico, J. y Chinchilla, L. (2002). *Seguridad ciudadana en América Latina: Hacia una política integral* (1ª ed.). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=hDjEkzCmDy0C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=hDjEkzCmDy0C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Rojo, F. (2015). Transformaciones urbanas vinculadas a barrios cerrados: evidencias para la discusión sobre fragmentación espacial en ciudades latinoamericanas. *Cuadernos de Geografía*, 24(1). <https://www.redalyc.org/pdf/2818/281832840009.pdf>
- Ruiz, M. (2003). *Nociones de Topografía y Fotogrametría Aérea*. Granada, España: Universidad de Granada.
- Salom, A. (2011). *Limitaciones al crecimiento poblacional y espacial establecidas por la normativa territorial y urbanística* (1ª ed.). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=mo4ajCNfErUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=mo4ajCNfErUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Sancho, E. (enero de 2010): El estudio de los índices de vegetación como base para conocer las relaciones entre la vegetación y el clima. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y

- Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Congreso llevado a cabo en Sevilla, España.
- Sapena, M., & Ruiz, L. (2015). Descripción y cálculo de índices de fragmentación urbana: Herramienta IndiFrag. *Revista de Teledetección*, (43), 77-89.  
<https://doi.org/10.4995/raet.2015.3476>
- Secretaría Técnica del Plan Nacional de Desarrollo Urbano 2013–2030. (2013). *Zonas de prioridad para la densificación - Plan GAM 2013* [Mapa]. INVU.  
<https://www.invu.go.cr/documents/20181/168393/Cartograf%C3%ADa+-+Zonas+Prioritarias+Densificacion>
- Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) (s.f.). *USGS science for a changing world*. EarthExplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA). (s.f.). Mapas Acuíferos. Recuperado 7 de noviembre de 2020, de [http://www.senara.or.cr/acerca\\_del\\_senara/direcciones/direccion\\_de\\_investigacion\\_y\\_gestion\\_hidrica/mapas\\_acuiferos.aspx](http://www.senara.or.cr/acerca_del_senara/direcciones/direccion_de_investigacion_y_gestion_hidrica/mapas_acuiferos.aspx)
- Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). (2005–2016). *IGN Cartografía 1:25mil* [Conjunto de datos]. Recuperado de [https://www.snitcr.go.cr/ico\\_servicios\\_ogc\\_info?k=bm9kbzo6Mjc=&nombre=IGN%20Cartograf%C3%ADa%201:25mil](https://www.snitcr.go.cr/ico_servicios_ogc_info?k=bm9kbzo6Mjc=&nombre=IGN%20Cartograf%C3%ADa%201:25mil)
- Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). (2005–2017). *IGN Cartografía 1:5mil* [Conjunto de datos]. Recuperado de [https://www.snitcr.go.cr/ico\\_servicios\\_ogc\\_info?k=bm9kbzo6MjY=&nombre=IGN%20Cartograf%C3%ADa%201:5mil](https://www.snitcr.go.cr/ico_servicios_ogc_info?k=bm9kbzo6MjY=&nombre=IGN%20Cartograf%C3%ADa%201:5mil)
- Svampa, M. (2004). Fragmentación espacial y procesos de integración social “hacia arriba”. *Sociabilización, sociabilidad y ciudadanía. Espiral, Estudios sobre Estado y sociedad*, 11 (31), 55-84. Recuperado de <http://espiral.cucsh.udg.mx/index.php/EEES/article/view/1559/1360>
- TEC Digital. (s. f.). Historia | Proyecto GAM. Recuperado 7 de febrero de 2021, de <https://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/gam/?q=historia>
- Van Lidth de Jeude, M. y Schütte, O. (2013). El círculo vicioso de la fragmentación espacial y segregación social en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica.

*REVISTARQUIS*, 2 (3), 24-67. Recuperado de  
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/revistarquis/article/view/8706/pdf>

Vilanova. (s. f.). Vila del Sendero. Recuperado 18 de febrero de 2022, de  
<https://vilanovacr.com/projects-item/condominio-vila-del-sendero/>

## **Anexos**

Anexo 1. Mapa de valores fiscales de bienes inmuebles sin construcción en el cantón de San Rafael, por zona homogénea para el año 2008

Anexo 2. Mapa de valores fiscales de bienes inmuebles sin construcción en el cantón de San Rafael, por zona homogénea para el año 2015







