

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
PARA EL ESTUDIO DE LAS ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL RÍO MARÍA
AGUILAR, SECTOR PINARES DE CURRIDABAT**

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Geografía para optar al grado y título de Maestría Profesional en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección.

SOFÍA RODRÍGUEZ VINDAS

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2020

Dedicatoria

**A Dios por ser mi guía,
a mi madre Rosa Vindas Smith por sacar adelante a toda la familia en los momentos
más duros, por ayudarme incansablemente a superarme desde el inicio de mi vida.**

**A mis hermanos y hermanas que me han apoyado en cada una de mis metas. A mi
hermano Alejandro por ayudarme en cada momento que lo necesité e impulsarme a
seguir estudiando.**

A mi mor (abuelita) que desde el cielo aplaude y festeja mi éxito.

**A mis mejores amigos Stephanie y Cristopher que siempre me han apoyado y
acompañado en cada paso que doy.**

Agradecimientos

A mi Tutora Máster. Sara Bastos Gutiérrez le agradezco profundamente la amistad, las risas contagiosas, el apoyo, esfuerzo, compromiso, paciencia y conocimiento fundamental para el desarrollo de la investigación.

Agradezco a mi Lector Máster. Paul Antonio Vega Salas por todo el apoyo, esfuerzo, entrega y compromiso necesarios para cumplir los objetivos de la investigación.

Agradezco profundamente a mi Lectora Doctora. Marilyn Romero Vargas; por apoyarme en el momento que más la necesitaba, además de brindarme su amistad, cariño, confianza, esfuerzo, entrega y compromiso demostrado en todo el proceso de la investigación.

Agradezco a mi querida amiga Alicia Borja Rodríguez por todo su apoyo y conocimiento necesario para establecer una estrategia de análisis y desarrollo de la investigación.


Agradezco a mi gran amiga Elizabeth Acuña Prado por impulsarme a seguir estudiando y ser una mejor profesional.

Agradezco al Grupo de Maestría a quienes estimo muchísimo y son parte importante de este logro.

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Geografía de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección”



M.Sc. Melvin Lizano Araya
Representante del Decano Sistema de Estudios de Posgrado



M.Sc. Sara Bastos Gutiérrez
Profesora Guía



M.Sc. Paul Antonio Vega Salas
Lector



Dra. Marilyn Romero Vargas
Lectora



M.Sc. Ramón Masís Campos
Representante del Director del Programa de Posgrado



Sofía Rodríguez Vindas
Sustentante

Índice General

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Dedicatoria</i> | ii |
| <i>Agradecimientos</i> | iii |
| <i>Hoja de Aprobación</i> | iv |
| <i>Índice General</i> | v |
| <i>Resumen</i> | ix |
| <i>Abstract</i> | xi |
| <i>Índice de Tablas</i> | xiii |
| <i>Índice de Figuras</i> | xiv |
| <i>Índice de Gráficos</i> | xvii |
| <i>Índice de Mapas</i> | xviii |
| <i>Lista de Acrónimos</i> | xx |
| CAPITULO I: INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Antecedentes | 1 |
| 1.2. Justificación del tema | 5 |
| 1.3. Objetivos | 9 |
| 1.3.1. Objetivo general | 9 |
| 1.3.2. Objetivos específicos..... | 9 |
| 1.4. Delimitación espacial y temporal del objeto de estudio | 9 |
| 1.5. Alcances del proyecto | 11 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.6. Limitaciones | 11 |
| CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO | 13 |
| 2.1. Sistemas de Información Geográfica | 13 |
| 2.2. Vehículos Aéreos No tripulados (VANT) | 13 |
| 2.3. Definición del área de protección de ríos y quebradas | 15 |
| 2.4. Función del bosque en el área de protección | 16 |
| 2.5. Proceso de urbanización y las áreas de protección | 18 |
| 2.6. Áreas de protección en terrenos municipales. | 24 |
| 2.7. Sanciones en el área de protección. | 25 |
| CAPITULO 3: METODOLOGÍA..... | 27 |
| 3.1. Tipo de investigación y estrategia general | 27 |
| 3.1.1. Tipo de investigación..... | 27 |
| 3.1.2. Estrategia general | 27 |
| 3.2. Definición de variables | 29 |
| 3.3. Recolección de datos | 31 |
| 3.3.1. Métodos, técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos. | |
| 31 | |
| 3.4. Delimitación del área de protección del río | 33 |
| 3.4.1. Alineamiento del área de protección según diseño de sitio..... | 33 |

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.2. | Alineamiento del área de protección según Información Catastral y Registral | 44 |
| 3.4.3. | Alineamiento del área de protección según metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU | 47 |
| 3.5. | Escenarios catastrales y registrales | 57 |
| 3.6. | Levantamiento de puntos de control | 59 |
| 3.6.1. | Proceso para la obtención del primer punto de control. | 60 |
| 3.6.2. | Ubicación del segundo punto de control | 66 |
| 3.6.3. | Datos obtenidos del levantamiento de puntos de control | 67 |
| 3.7. | Levantamiento Fotogramétrico | 70 |
| 3.7.1. | Fotogrametría utilizando Agisoft PhotoScan Professional..... | 73 |
| 3.7.1.1. | Importación de las imágenes al proyecto..... | 73 |
| 3.7.1.2. | Alineación de las imágenes..... | 76 |
| 3.7.1.3. | Calibración y optimización de la cámara..... | 84 |
| 3.7.1.4. | Construcción de la Nube Densa..... | 88 |
| 3.7.1.5. | Construcción de la Malla Tridimensional..... | 93 |
| 3.7.1.6. | Generación del Modelo de Elevación Digital..... | 97 |
| 3.7.1.7. | Creación del Ortomosaico. | 101 |
| 3.7.2. | Error Promedio del Modelo Fotogramétrico | 103 |
| 3.8. | Análisis de la información recolectada | 106 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| CAPITULO 4: RESULTADOS | 107 |
| 4.1. Delimitación del área de protección del río | 107 |
| 4.2. Escenarios catastrales y registrales | 112 |
| 4.3. Identificar conflictos de uso en las áreas de protección del río María Aguilar | |
| 124 | |
| 4.3.1. Uso conforme y no conforme del área de protección del río..... | 126 |
| 4.3.2. Posibles invasiones al área de protección del río | 135 |
| CAPITULO 5: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 143 |
| 5.1. Discusión | 143 |
| 5.2. Conclusiones | 151 |
| 5.3. Recomendaciones..... | 153 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 154 |
| ANEXOS..... | 159 |

Resumen

Los ríos y quebradas son ecosistemas altamente vulnerables a los procesos de deforestación, urbanización y contaminación. La Ley Forestal costarricense es un instrumento legal para la conservación de estos humedales al definir Áreas de Protección (AP), sin embargo, la aplicación de la Ley no ha sido 100% eficaz, entre otros aspectos por la falta de una delimitación espacial. Esta limitación podría ser subsanada mediante un análisis que combine herramientas espaciales, tecnológicas y legales para un mejor control y planificación del uso del suelo. Para este estudio se seleccionó el AP del río María Aguilar en el sector Pinares de Curridabat y se aplicó un análisis de escenarios basados en información catastral, registral, diseños de sitio e imágenes fotogramétricas obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado. De acuerdo con los resultados, el 60% de las AP fue posible identificarlas y delimitarlas con base en la información registral, catastral o de diseño de sitio; para las AP restantes fue necesario una delimitación digital con base en la metodología del INVU (2019). El 94% de los escenarios de conformación del mapa catastral presenta información catastral y registral, al sobreponer el área de protección vs los escenarios se logra identificar que el 45% del área de protección está inscrita a nombre de la Municipalidad de Curridabat, 42% a nombre de privados y 13% no tiene información registral ni catastral asociada. Con base en el análisis fotogramétrico, el 87% de las AP presentan uso conforme (UC) respecto a la Ley Forestal. En cuanto al uso no conforme (UNC) (13%, 4921,57 m²), de este 13% de UNC, el 16% se generó con base en la metodología del INVU, mientras que el restante 84% tiene información registral, catastral y diseños de sitio. De este 13% de UNC el 52% está inscrito a nombre de privados, el 46% a nombre de la Municipalidad de Curridabat y el 2% no presenta información registral ni catastral. En conclusión, la

combinación de herramientas de análisis espacial y legal permite identificar y delimitar las AP en un porcentaje importante, sin embargo, hay casos con faltantes de información que necesitan ser actualizados mediante otras herramientas de análisis espacial.

Abstract

Rivers and streams are ecosystems highly vulnerable to deforestation, urbanization and pollution processes. The Costa Rican Forest Law is a legal instrument for the conservation of these wetlands by defining Protection Areas (PA), however, the application of the Law has not been 100% effective, among other aspects due to the lack of a spatial delimitation. This limitation could be corrected through an analysis that combines spatial, technological and legal tools for better control and planning of land use. For this study, the PA of the María Aguilar river in the Pinares de Curridabat sector was selected and a scenario analysis was applied based on cadastral and registry information, site designs and photogrammetric images obtained with an unmanned aerial vehicle. According to the results, 60% of the PAs could be identified and delimited based on the registry, cadastral or site design information; for the remaining PAs, a digital delimitation was necessary based on the INVU [National Institute of Housing and Urban Development] methodology (2019). 94% of the cadastral map conformation scenarios present cadastral and registry information. When superimposing the protection area vs. the scenarios, it is possible to identify that 45% of the protection area is registered in the name of the Municipality of Curridabat, 42% to private names and 13% have no associated registry or cadastral information. Based on the photogrammetric analysis, 87% of the PAs present conforming use (CU) in compliance with the Forest Law. Regarding non-compliant use (NCU) (13%, 4921.57 m²), of this 13% of NCU, 16% was generated based on the INVU methodology, while the remaining 84% has registry, cadastral information and site layouts. Of this 13% of NCU, 52% is registered in the name of private companies, 46% in the name of the Municipality of Curridabat and 2% do not present registry or cadastral information. In conclusion, the combination of spatial

and legal analysis tools makes it possible to identify and delimit PAs in a significant percentage; however, there are cases with missing information that need to be updated using other spatial analysis tools.

Índice de Tablas

| | |
|----------------|-----|
| Tabla 1 | 32 |
| Tabla 2 | 45 |
| Tabla 3 | 68 |
| Tabla 4 | 105 |
| Tabla 5 | 108 |
| Tabla 6 | 112 |
| Tabla 7 | 115 |
| Tabla 8 | 118 |
| Tabla 9 | 121 |
| Tabla 10 | 126 |
| Tabla 11 | 129 |
| Tabla 12 | 132 |
| Tabla 13 | 137 |
| Tabla 14 | 140 |

Índice de Figuras

| | |
|----------------|----|
| Figura 1..... | 21 |
| Figura 2..... | 30 |
| Figura 3..... | 33 |
| Figura 4..... | 34 |
| Figura 5..... | 35 |
| Figura 6..... | 36 |
| Figura 7..... | 37 |
| Figura 8..... | 38 |
| Figura 9..... | 51 |
| Figura 10..... | 57 |
| Figura 11..... | 60 |
| Figura 12..... | 61 |
| Figura 13..... | 62 |
| Figura 14..... | 62 |
| Figura 15..... | 63 |
| Figura 16..... | 64 |
| Figura 17..... | 64 |
| Figura 18..... | 65 |
| Figura 19..... | 65 |
| Figura 20..... | 66 |
| Figura 21..... | 67 |
| Figura 22..... | 70 |

| | |
|----------------|----|
| Figura 23..... | 73 |
| Figura 24..... | 74 |
| Figura 25..... | 74 |
| Figura 26..... | 75 |
| Figura 27..... | 76 |
| Figura 28..... | 78 |
| Figura 29..... | 79 |
| Figura 30..... | 79 |
| Figura 31..... | 80 |
| Figura 32..... | 80 |
| Figura 33..... | 81 |
| Figura 34..... | 82 |
| Figura 35..... | 82 |
| Figura 36..... | 83 |
| Figura 37..... | 84 |
| Figura 38..... | 85 |
| Figura 39..... | 86 |
| Figura 40..... | 87 |
| Figura 41..... | 88 |
| Figura 42..... | 89 |
| Figura 43..... | 91 |
| Figura 44..... | 92 |
| Figura 45..... | 93 |
| Figura 46..... | 94 |

| | |
|----------------|-----|
| Figura 47..... | 96 |
| Figura 48..... | 97 |
| Figura 49..... | 98 |
| Figura 50..... | 99 |
| Figura 51..... | 99 |
| Figura 52..... | 100 |
| Figura 53..... | 101 |
| Figura 54..... | 102 |
| Figura 55..... | 103 |
| Figura 56..... | 114 |
| Figura 57..... | 124 |
| Figura 58..... | 144 |
| Figura 59..... | 145 |
| Figura 60..... | 146 |
| Figura 61..... | 147 |
| Figura 62..... | 148 |
| Figura 63..... | 149 |

Índice de Gráficos

| | |
|------------------|-----|
| Gráfico 1 | 6 |
| Gráfico 2 | 107 |
| Gráfico 3 | 112 |
| Gráfico 4 | 116 |
| Gráfico 5 | 119 |
| Gráfico 6 | 122 |
| Gráfico 7 | 127 |
| Gráfico 8 | 130 |
| Gráfico 9 | 133 |
| Gráfico 10 | 138 |
| Gráfico 11 | 141 |

Índice de Mapas

| | |
|---------------|-----|
| Mapa 1 | 10 |
| Mapa 2 | 39 |
| Mapa 3 | 41 |
| Mapa 4 | 43 |
| Mapa 5 | 46 |
| Mapa 6 | 48 |
| Mapa 7 | 50 |
| Mapa 8 | 52 |
| Mapa 9 | 54 |
| Mapa 10 | 56 |
| Mapa 11 | 58 |
| Mapa 12 | 69 |
| Mapa 13 | 72 |
| Mapa 14 | 104 |
| Mapa 15 | 109 |
| Mapa 16 | 111 |
| Mapa 17 | 113 |
| Mapa 18 | 117 |
| Mapa 19 | 120 |
| Mapa 20 | 123 |
| Mapa 21 | 125 |
| Mapa 22 | 128 |

| | |
|---------------|-----|
| Mapa 23 | 131 |
| Mapa 24 | 134 |
| Mapa 25 | 136 |
| Mapa 26 | 139 |
| Mapa 27 | 142 |

Lista de Acrónimos

AIRMA: Agencia Intermunicipal de la Subcuenca del Río María Aguilar.

AP: Área de Protección.

GAM: Gran Área Metropolitana.

INVU: Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo.

NCGIA: National Center for Geographic Information and Analysis.

MIVAH: Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos.

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía.

POTGAM: Plan de Ordenamiento Territorial de la Gran Área Metropolitana.

SIG: Sistemas de Información Geográfica.

SNAA: Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados.

UC: Uso Conforme.

UNC: Uso No Conforme.

VANT: Vehículo Aéreo No Tripulado.



Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Sofía Rodríguez Vindas, con cédula de identidad 4-0187-0696, en mi condición de autor del TFG titulado Implementación de un sistema de información geográfica para el estudio de las áreas de protección del río María Aguilar, sector Pinares de Curridabat

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Sofía Rodríguez Vindas

Número de Carné: B89595 Número de cédula: 4-0187-0696

Correo Electrónico: sofrod9@gmail.com

Fecha: 09/02/2021 Número de teléfono: 88672701

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): M.Sc. Sara Bastos Gutiérrez

Sofía Rodríguez Vindas
FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La situación actual de las áreas de protección en el espacio urbano de Costa Rica obedece a diversos y continuos procesos de cambio en el Gran Área Metropolitana, de acuerdo con Vargas et al(1988) (MIVAH et al., 2008), entre 1950 y 1980 el proceso de metropolización en el Valle Central de Costa Rica se vio impulsado por cuatro factores relevantes: el acelerado crecimiento demográfico que se registró durante la década de los cincuenta en el país, especialmente en el espacio urbano metropolitano, el inicio de la especulación urbana sobre los terrenos agrícolas adyacentes a la ciudad de San José, que empezaron a ser convertidos a usos urbanos hacia finales de la década de los cincuenta, la creación de entidades públicas especializadas en la prestación de servicios urbanos y en la administración del territorio urbano. Así como, la lucha promovida por las Juntas Progresistas para la extensión de los servicios públicos como escuelas, plazas de deportes y saneamiento ambiental, entre otros.

En el año 1982 el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismos (INVU), creo el Plan de Desarrollo Urbano para el Gran Área Metropolitana (GAM) (decreto ejecutivo N° 12590 y acogido por decreto ejecutivo N° 13583 VAH – OFIPLAN publicado el 03 de mayo 1982.), representando una herramienta pionera de suma importancia para la planificación regional en Costa Rica. Desde la vigencia de dicho plan, se ha consolidado un crecimiento importante en el área utilizada para el desarrollo urbano en la GAM, reforzando al área de la GAM de mayor importancia a nivel comercial, industrial, político y social de Costa Rica, lo que produjo una fuerte expansión horizontal que supera los límites de contención urbana del Plan

GAM, generando que un significativo porcentaje de la población de la GAM viva en condiciones de alto o muy alto riesgo a diversos tipos de amenazas naturales (Plan GAM, 1982).

Para el año 2013 se crea el Plan GAM 2013, 30 años después de esta primera herramienta de planificación, que reflejó en la GAM un continuo desarrollo inmobiliario, crecimiento demográfico y expansión de la mancha urbana, por lo que, era necesario actualizar y evidenciar la problemática actual presente en la misma.

Anteriormente a la aprobación del Plan GAM 2013 existieron propuestas, las mismas, representan insumos técnicos de gran importancia para entender la realidad que afronta la GAM. Una de ellas es el Plan de Ordenamiento Territorial de la Gran Área Metropolitana 2011 – 2030 (POTGAM), en la cual, se generó un diagnóstico, estableciendo los principales elementos de la problemática que enfrenta esta área, en donde la carencia de una estrategia Urbano-Regional, debidamente planificada y jerarquizada genera los siguientes escenarios reales presentes en ella: crecimiento urbano espontaneo y desequilibrado en el territorio de la GAM, congestionamiento en los principales centros urbanos y sus alrededores, pérdida de eficiencia y competitividad del GAM, deficiente organización del transporte y del sistema vial del GAM, deterioro de las condiciones ambientales.

Al profundizar en este último escenario real, el POTGAM menciona que el *“crecimiento del parque automotor, las deficiencias del sistema vial y de transporte, la densificación de actividades en ciertos puntos, aunada a la carencia de inversiones en la generación y protección de áreas verdes, han conducido a niveles altos de contaminación en general, por un lado. Por el otro está la creciente generación de basura junto a la ausencia de buenos hábitos personales para su disposición y también serias deficiencias en los sistemas de recolección y tratamiento de estos desechos. Sumado a los aspectos anteriores se adhiere la*

contaminación por desechos de todo tipo de los ríos, quebradas y cerros que se ubican el GAM...”.

De este modo, el Plan GAM 2013 funciona como un punto de partida y referencia para los planes reguladores locales, orientando de manera permanente, la planificación en la escala regional. Con base en este plan, un factor que caracteriza la ocupación del GAM corresponde a las pérdidas ambientales elevadas provocadas por el vertido directo a los cauces fluviales de aguas residuales, la pérdida de capacidad de recarga de los acuíferos y el incremento de la contaminación atmosférica y acústica derivada del caos circulatorio.

El Plan GAM 2013 agrupa los objetivos en dimensiones del ordenamiento territorial de la GAM, en donde uno de ellos refleja, la dimensión natural, la cual establece *“una estructura ecológica regional que integre bordes de ríos, parques metropolitanos, corredores biológicos, áreas forestales, áreas protegidas y cuerpos de agua para asegurar la preservación de los recursos naturales y su integración con el entorno urbano y productivo. Definir una propuesta de desarrollo urbano regional para proteger las zonas de recarga acuífero, optimizar el consumo racional del agua y mejorar la eficiencia en el tratamiento de las aguas servidas...”*

Uno de los insumos que se consideró para el Plan GAM 2013, fue la información suministrada por la Comisión Nacional de Emergencia, en donde se logra concluir que las áreas urbanas presentan la mayor cantidad de sitios con amenaza de inundación y flujo de detritos y/o lodo, reforzando la problemática existente en las zonas de protección de los ríos en las áreas urbanizadas.

Como parte de la Gran Área Metropolitana, el Cantón de Curridabat se ha caracterizado por presentar situaciones de vulnerabilidad en cuanto a deslizamiento e inundaciones, eventos que son recurrentes en época lluviosa, incluso se pueden llegar a determinar áreas

donde se presentan recurrentemente dichas situaciones. Dicha problemática se podría estar incrementado por la creciente expansión urbana y cambio de uso del suelo, que se ha desarrollado en las últimas décadas, lo que ha influido en la posible invasión de las zonas de protección, que implica la disminución del área del cauce, afectando la capacidad de drenaje.

A partir de la entrevista realizada a la Alcaldesa Municipal del cantón de Curridabat M.Sc. Alicia Borja R, respecto de las zonas de protección, he podido determinar la importancia de investigar sobre el tema, y a continuación el extracto de dicha entrevista:

“En primer lugar, considero que el problema de las invasiones en áreas de protección radica en la existencia de un vacío legal en la Ley Forestal, en cuanto a que no establece la metodología de cómo de llevarse a cabo la medición, para determinar si corresponde un retiro de 10 o 50 metros en la zona de protección. En segundo lugar, a nivel de los gobiernos locales, para lograr establecer sí existe o no una alteración o invasión a las zonas de protección, es necesario determinarlo en forma individualiza por cada propietario registral, y para ello se requiere consultar los antecedentes de la finca, en cuanto a verificar cual fue el retiro otorgado por el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, revisando la leyenda en el plano catastrado, y la medición actual en el predio, para que con el análisis registral-catastral, se pueda instaurar la acción legal correspondiente. Por último menciono, que a nivel registral y catastral, reviste de suma importancia definir la titularidad de las zonas de protección, y he experimentado varios casos: bienes demaniales inscritos, que ha facilitado la defensa administrativa y judicial; bienes demaniales no inscritos, casos en que un proyecto urbanístico la zona de protección fue definida como área a ceder al municipio en el diseño de sitio, pero no fueron traspasados, lo que implica un

examen mayor y una complicada defensa municipal; aquellas zonas de protección que son de índole privado, y por último espacios geográficos entre la zona de protección y el terreno privado, que no se encuentran inscritos, y que no se puede determinar la demanialidad y consecuentemente a través de la rectificación de medida son incorporados a terrenos privados. Con todo lo anterior, he evidenciado lo oportuno de llevar a cabo un caso de estudio, cuyas recomendaciones permitan facilitar las acciones a los gobiernos nacionales y los gobiernos locales para llevar a cabo acciones que conduzcan en forma eficiente la protección de las zonas de protección, en beneficio del bien común.”

Por lo que, fue necesario generar un estudio en el Cantón de Curridabat, con el fin de analizar la existencia de invasiones (construcciones, cambio de uso del suelo) en las áreas de protección, examinando a profundidad la situación que afrontan estas zonas, indicando cual propiedad y titular es el que está invadiendo, determinando el área de invasión.

1.2. **Justificación del tema**

El Gran Área Metropolitana representa la región del país de mayor crecimiento, concentrando la mayoría de las actividades económicas, esta área ha crecido bajo un patrón de baja densidad, promoviendo desarrollos residenciales en las zonas periféricas, además, conforme más se aleja del centro, el crecimiento de la mancha urbana se relaciona directamente con las vías principales.

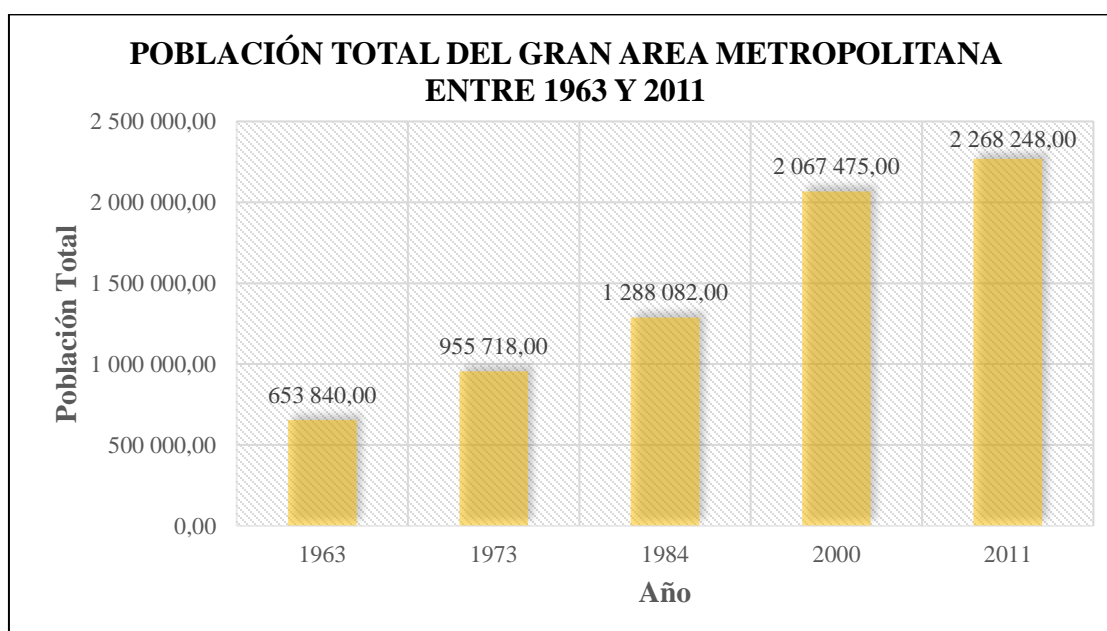
Según el Plan GAM 2013, este crecimiento de la mancha urbana no responde; a ningún esquema preestablecido, sino que se ha expandido sujeta a restricciones no necesariamente

consistentes: disponibilidad de infraestructura, el anillo de contención, algunas regulaciones locales y diferenciales en el mercado inmobiliario.

Dicho crecimiento de la mancha urbana está relacionado directamente al crecimiento poblacional de la GAM, con base en los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos, para el año 1963 la población total de dicha área fue de 653.840 habitantes aumentando para el año 2011 en 2.268.248 de habitantes, lo que corresponde a un aumento de 346,91%, dicho aumento se ve reflejado en el Gráfico 1.

Gráfico 1

Cantidad de población de la Gran Área Metropolitana para los años 1963 al 2011.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo.

El crecimiento del Gran Área Metropolitana, según Brenes (1997), se ha caracterizado por la expansión urbana especulativa y la falta de rigor urbanístico, ha permitido el establecimiento de grandes áreas urbanizadas de baja calidad, con servicios insuficientes e infraestructura defectuosa. Asimismo, indica que las normas urbanísticas han fijado índices

de áreas verdes relativamente bajas y la protección de ríos, acuíferos y otras áreas naturales no se ha dado. Por lo que, dicho crecimiento ejerce una enorme presión sobre las zonas de protección ambiental y de producción agrícola de la región, comprometiendo la conservación y la calidad del recurso hídrico y el aire.

Al profundizar en la situación que afrontan las áreas verdes asociadas a la presencia de los ríos, primeramente, debe de tomar en cuenta el artículo 33 de la ley forestal, en la cual, declara a las áreas de protección de la siguiente manera:

- “a) Las áreas que bordeen nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de modo horizontal.
- b) Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado.
- c) Una zona de cincuenta metros medida horizontalmente en las riberas de los lagos y embalses naturales y en los lagos o embalses artificiales construidos por el Estado y sus Instituciones. Se exceptúan los lagos y embalses artificiales privados.
- d) Las áreas de recarga y los acuíferos de los manantiales, cuyos límites serán determinados por los órganos competentes establecidos en el reglamento de esta ley”.

Con base en esta norma, Valdés Torres (2010), menciona dos problemas adicionales que conlleva la misma, el primero de ellos, implica a la interpretación del término “ribera” en el artículo para efectos de iniciar la medición, entendido diferente a nivel institucional

(Municipalidades, MINAE, SNAA entre otros) dependiendo de la época del año en que haya de delimitarse y, en segundo lugar, la legalidad de un régimen tan estricto de limitaciones a la propiedad (o en dado caso si se configuraría una expropiación) en áreas donde la sola medida haga imposible la construcción de vivienda.(p. 3)

Las áreas de protección deben de permanecer intactas, con presencia de cobertura arbórea, debido a la importancia que tiene el bosque en el ciclo del agua y en la protección del suelo. Por lo que, es fundamental establecer estrategias para monitorear el estado actual de las áreas de protección en las zonas urbanas, utilizando los Sistemas de Información Geográfica para establecer los posibles escenarios presentes en ella, mediante la creación de la base de datos de las áreas de protección del Río María Aguilar.

Para construir los posibles escenarios registrales y catastrales anteriormente mencionados, fue fundamental contar con los mapas catastrales generados por la Municipalidad de Curridabat, así como, el mapa catastral generado por el Proyecto de Regularización de Catastro y Registro, en donde se procedió a analizar e identificar las fincas situadas en el área de estudio, logrando asociar varias fincas que no estaban ubicadas, por lo que, fue necesario georreferenciar y conformar un nuevo mapa catastral del sitio para establecer con mayor certeza los posibles escenarios presentes en el área de protección.

A partir de los escenarios registrales y catastrales, se logra establecer qué porcentaje del área de protección está registrada a nombre público o a nombre de terceros, y teniendo en cuenta el levantamiento fotogramétrico obtenido con un vehículo aéreo no tripulado (VANT), el cual, es insumo actualizado, se logra identificar las zonas que presentan posibles invasiones a las áreas de protección, promoviendo el control y protección de dichas zonas del Cantón de Curridabat.

1.3. **Objetivos**

1.3.1. *Objetivo general*

Implementar un Sistema de Información Geográfica para el monitoreo y control de las áreas de protección del río María Aguilar, sector Pinares, Curridabat, mediante el análisis de escenarios de sitio basados en información catastral, registral e imágenes fotogramétricas obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado.

1.3.2. *Objetivos específicos*

Delimitar el área de protección del río con base en el alineamiento del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo o retiros por ley establecidos en los proyectos urbanísticos.

Determinar escenarios catastrales y registrales en el área de protección del río mediante la conformación del mapa catastral, identificando las características registrales de las propiedades.

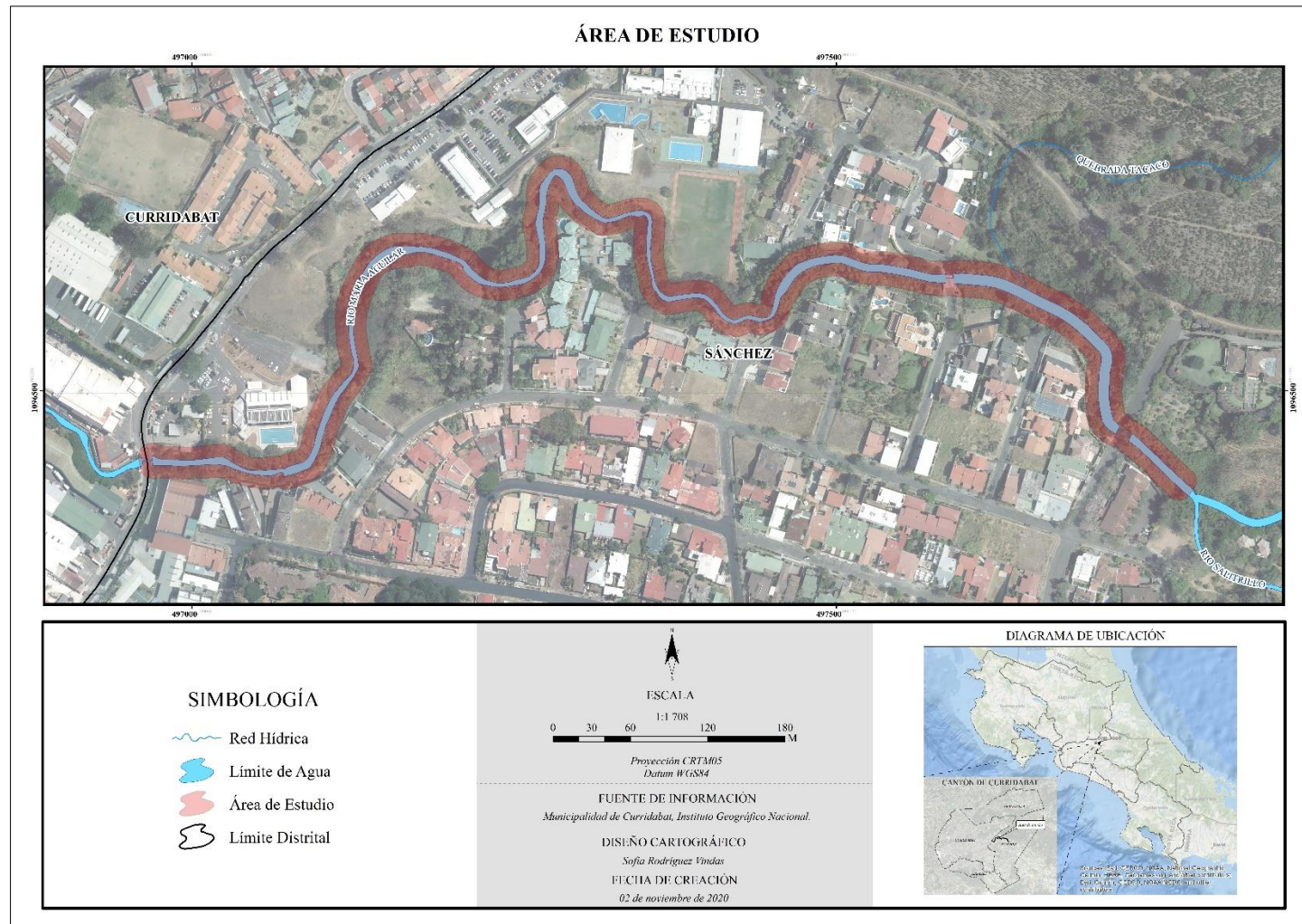
Identificar conflictos de uso en el área de protección en los distintos escenarios catastrales y registrales, mediante la fotointerpretación de imágenes fotogramétricas obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado, para la caracterización de las áreas con posible invasión.

1.4. **Delimitación espacial y temporal del objeto de estudio.**

El área de estudio se ubica en el Cantón de Curridabat de la Provincia de San José, el área que comprende el Cantón de Curridabat corresponde a 15.96 Km², cuya población asciende según el último censo oficial del Instituto Nacional de Estadística y Censo de 65,206 habitantes, realizado en el año 2011. Como se muestra en el Mapa 1, el sitio de estudio se ubica en el área de protección del río María Aguilar que atraviesa la Urbanización Pinares del Distrito de Sánchez Cantón Curridabat, que contempla una longitud de 1.325,73 m.

Mapa 1

Ubicación del área de estudio



Fuente: elaboración propia.

1.5. Alcances del proyecto

Analizar nuevos criterios para la delimitación del área de protección del río, así mismo, examinar la metodología del INVU y con ello generar las observaciones a la misma. Determinar escenarios catastrales y registrales en el área de protección del río mediante la conformación del mapa catastral.

Identificar las áreas que presentan conflictos de uso en el área de protección en los distintos escenarios, mediante la fotointerpretación de imágenes fotogramétricas obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado, delimitando las áreas con posible invasión al área de protección.

1.6. Limitaciones

Para el cálculo del área de protección generado mediante la aplicación de la metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyos (Versión 1.0) del INVU-PNUD, se utilizó la cartografía correspondiente al límite de agua, ríos, quebradas, arroyos, curvas de nivel, etc.; generados para el año 2017, según lo estipulado en dicho método, esta cartografía tiene 3 a 4 años desactualizada (año 2020). Teniendo en cuenta la dinámica poblacional, el crecimiento urbano, la dinámica de las áreas de protección que bordean los ríos, este insumo no representa la realidad y actualidad que presenta las mismas.

Para lograr la delimitación y cálculo del área de protección río es necesario delimitar el borde del río, quebrada o arroyo, implicando el monitoreo de las mismas para determinar el terreno que cubren sus aguas en las mayores crecidas ordinarias. Este insumo resultado del monitoreo de los bordes de los ríos en los meses más lluviosos no existe, por lo que, la metodología del INVU, utiliza la cartografía generada en el año 2017 para el cálculo del área de protección, utilizando la

delimitación establecida mediante fotointerpretación del límite de agua, la cual no contemplo los meses con mayor intensidad de lluvias.

Con respecto al levantamiento de información fotogramétrica, se realizó la primera visita al sitio, el día 12 de febrero de 2020 en donde se procedió a ubicar 2 puntos de control utilizando el equipo GNSS/GPS RTK GEOMAX Zenith 40. Las semanas siguientes a la primera visita, presentaron condiciones climáticas desfavorables para realizar el vuelo fotogramétrico, debido a fuertes lluvias y vientos, por lo que, la segunda visita al área de estudio se realizó casi tres semanas después de la primera visita. Específicamente, el martes 25 de febrero de 2020, en donde se logró utilizar Vehículo Aéreo No Tripulado (Phantom 4 RTK), permitiendo generar la información necesaria para generar la información fotogramétrica.

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica según Burrough (1986), se definen como un conjunto de herramientas para unir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y representar los datos espaciales sobre el mundo real, para un objetivo específico. Asimismo, destaca la importancia de los Sistemas de Información Geográfica, en la representación de modelos de situaciones reales, permitiendo realizar simulaciones de situaciones específicas, las cuales muchas de ellas no se podrían representar en la realidad. De igual forma, Aronoff (1989) define a los SIG como un conjunto de tecnologías de información (equipos y programas) y procedimientos que permiten el manejo de datos e información de carácter geográfico, o espacial y sus atributos relacionados.

Según National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) en 1990, define los SIG como un sistema de equipos informáticos, programas y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión. Esta herramienta se puede implementar en muchas situaciones o problemáticas existentes, teniendo en cuenta que la misma, se componen de Hardware, Software, Datos o Información Geográfica, Recursos Humanos, organización.

2.2. Vehículos Aéreos No tripulados (VANT)

Los avances tecnológicos han impulsado la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para la obtención, análisis, gestión de la información (datos); los Vehículos Aéreos No tripulados (VANT) representan una muestra de estos avances tecnológicos, esta herramienta fue creada para fines militares y hoy en día es una herramienta fundamental, para la generación de

datos como Modelos Digitales del Terreno, Ortomosaico, curvas de nivel de áreas específicas, entre otros.

Actualmente las aplicaciones y usos de los VANT cada vez son mayores, demostrando gran potencial en diferentes áreas. Dicho aumento se debe, según Tajadura (2017) debido a la velocidad de reacción para desplazarse sobre un terreno irregular o accidentado superando cualquier tipo de obstáculo, ofreciendo imágenes con diferentes puntos de vista a través de cámaras, sensores en un tiempo record. Así mismo, menciona muchas aplicaciones y usos que se les da a los VANT, los cuales son: búsqueda de personas desaparecidas, fotografías, videos, cartografía aérea, prevención y control de incendios, seguridad y vigilancia, medio ambiente, agricultura, geología, etc.

En Costa Rica, según Robinson y André (2017), estos avances tecnológicos han permitido, accesibilidad para la población en general, por la reducción considerable del costo y el aumento de establecimientos mercantiles que facilitan la adquisición de este tipo de aeronaves.

Algunos de los beneficios por la implementación de los VANT que menciona Tajadura en el año 2017, corresponde a:

- Reducción de precio frente a presupuestos con pilotos.
- Mayor estabilidad y mejora de las prestaciones para realizar fotografías y videos debido a la posibilidad de reducir la velocidad y desarrollar trabajos cerca del suelo incluso con obstáculos.
- Proceso simplificado y reducción del trabajo.
- Automatización cuando se quiere trabajar en áreas grandes.
- Obtención de mapas 3D de un terreno.
- Reducción de efectivos humanos, una sola persona podría realizar todo el proceso.

Dicha tecnología es idónea para el análisis y gestión de las áreas de protección, debido a la poca accesibilidad, por la gran cantidad de vegetación y pendientes, lo que imposibilita identificar y ubicar mediante inspecciones al sitio, posibles invasiones o conflictos de uso del área de protección de río. Por lo que, es importante considerar que el producto generado por los VANT representa un insumo actualizado, que permite identificar posibles invasiones (infraestructura, caminos, etc) al área de protección de los ríos.

2.3. Definición del área de protección de ríos y quebradas

El área de protección se define en el artículo N°33 de la Ley Forestal N°7575 como:

- a) Las áreas que bordeen nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de modo horizontal.
- b) Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el **terreno es quebrado**.
- c) Una zona de cincuenta metros medida horizontalmente en las riberas de los lagos y embalses naturales y en los lagos o embalses artificiales construidos por el Estado y sus instituciones. Se exceptúan los lagos y embalses artificiales privados.
- d) Las áreas de recarga y los acuíferos de los manantiales, cuyos límites serán determinados por los órganos competentes establecidos en el reglamento de esta ley.

En el año 2020 se define áreas de protección como la porción de terreno que presenta restricciones de uso debido a aspectos técnicos o jurídicos, en la medida que sirve para proteger un recurso natural dado, publicado en el Diario Oficial La Gaceta N°144 del 17 de junio del 2020.

Es fundamental aclarar que se considera como **terreno quebrado** para el cálculo de la delimitación del área de protección, por lo que, mediante el artículo N°2 del Reglamento a la Ley

Forestal, Decreto Ejecutivo N° 25721, menciona que un terreno quebrado tiene pendiente promedio superior al 40%.

De igual manera, es necesario saber cómo medir ambos lados de la ribera para poder generar el cálculo, por lo que, fue necesario el concepto de cauce de dominio público establecido en el Reglamento al Código de Minería, Decreto Ejecutivo 29300, Inciso 7 del artículo N°4, en donde se entiende por álveo o cauce de un río o arroyo, el terreno que cubren sus aguas en las mayores crecidas ordinarias.

En dicha área de protección se prohíbe la tala, asimismo, la institución que debe de generar los alineamientos de ésta es competencia del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, según el artículo N°34 de la misma ley, la cual indica lo siguiente:

Se prohíbe la corta o eliminación de árboles en las áreas de protección descritas en el artículo anterior, excepto en proyectos declarados por el Poder Ejecutivo como de conveniencia nacional.

Los alineamientos que deban tramitarse en relación con estas áreas serán realizados por el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo.

Para el año 2020 se define alineamiento de áreas de protección como la distancia o límite físico mínimo para el emplazamiento de una edificación respecto al área de protección establecidas en la ley forestal N°7575, publicado en el Diario Oficial La Gaceta N°144 del 17 de junio del 2020.

2.4. Función del bosque en el área de protección

Las áreas de protección deben de mantenerse en su forma natural, con presencia de cobertura boscosa, debido a la función que cumple el bosque en las mismas, las cuales se asocian a terrenos con pendiente, que debe de soportar la influencia del agua y con ello la erosión que genera tanto la

presencia del río, como la escorrentía superficial de la misma, así como, el cambio del uso del suelo de los terrenos aledaños.

Para comprender a un más el rol que cumple el bosque en las áreas de protección, es preciso mencionar la función de bosque que se muestra a continuación:

Cuando existe una masa arbórea suficiente, la lluvia que cae sobre el suelo lo hace en una forma más lenta y menos fuerte, al aminorar su caída las ramas y hojas de los árboles, que retienen una gran cantidad de agua, y la liberan paulatinamente en forma de gotas o bajando por el tronco.

Esto permite que las aguas no discurran y erosionen las capas edáficas. También impide que la lluvia dañe el suelo el sinnúmero de hojas sueltas en el sotobosque. El agua que finalmente llega a la tierra de forma inofensiva penetra a la capa de humus (capa superficial), que la absorbe como una esponja. El resto del agua, por la fuerza de la gravedad, desciende a capas inferiores del suelo, y es la que surge a la superficie a través de las nacientes o se almacena en los mantos acuíferos. Esta agua es limpia y fresca. Además, los árboles de zonas nubosas devuelven al suelo en forma de gotas una gran cantidad de agua condensada, aún en el verano, la que posteriormente llega a los ríos. Es incuestionable, entonces, el papel que juegan los bosques en la existencia de agua de primera calidad y en cantidad abundante durante todo el año. (Vaughan, 1983, pp.174-175)

Para comprender la importancia de la conservación de las áreas de protección es fundamental relacionar la función del agua, la cual, en la Ley Orgánica del Ambiente N°7554, en el capítulo XII, el artículo N°50, menciona el dominio público del agua, y especifica lo siguiente: “El agua es de dominio público, su conservación y uso sostenible son de interés social”.

Asimismo, en el artículo N°51 de la misma ley, indica los siguientes criterios que deben aplicarse, para la conservación y el uso sostenible del agua, los cuales son:

- a) Proteger, conservar y, en lo posible, recuperar los ecosistemas acuáticos y los elementos que intervienen en el ciclo hidrológico.
- b) Proteger los ecosistemas que permiten regular el régimen hídrico.
- c) Mantener el equilibrio del sistema agua, protegiendo cada uno de los componentes de las cuencas hidrográficas.

Para evitar la disminución de las aguas producida por la tala de bosques, la Ley de Aguas N° 276, en el capítulo N°9, referido a medidas de conservación de árboles, en el artículo N°145, menciona lo siguiente:

Todas las autoridades de la república procurarán, por los medios que tengan a su alcance, el estricto cumplimiento de las disposiciones legales referentes a la conservación de los árboles, especialmente los de las orillas de los ríos y los que se encuentren en los nacimientos de aguas.

2.5. Proceso de urbanización y las áreas de protección

Es importante mencionar que las aguas superficiales se reservan para el Estado según el artículo N°4 del Código de Minería (Ley N°6797), en donde se menciona lo siguiente:

Las aguas subterráneas y superficiales se reservan para el Estado y sólo podrán ser explotados por éste, por particulares de acuerdo con la ley, o mediante una concesión especial otorgada por tiempo limitado y con arreglo a las condiciones y estipulaciones que establezca la Asamblea Legislativa.

Las áreas de protección como legítimas limitaciones al derecho de propiedad encuentran su fundamento constitucional en el artículo 45, de la Constitución Política, el cual dice:

La propiedad es inviolable; a nadie puede privarse de la suya si no es por interés público legalmente comprobado, previa indemnización conforme a la ley... Por motivos de necesidad pública podrá la Asamblea Legislativa, mediante el voto de los dos tercios de la totalidad de sus miembros, imponer a la propiedad limitaciones de interés social.

El proceso de fraccionamiento o urbanización, representan un papel fundamental en el diseño y distribución de las áreas urbanizables y las áreas no urbanizables, así como las áreas destinadas a vías, parques y facilidades comunales, las cuales se cederá a uso público, en donde las áreas de protección representan en gran parte las áreas no urbanizables mencionadas anteriormente, mismas que no representan parte del porcentaje para el cálculo de las áreas públicas a ceder, según el artículo N°40 del Capítulo N°4 referente a Fraccionamiento y Urbanización de la Ley de Planificación Urbana N°4240, la cual menciona lo siguiente:

Todo fraccionador de terrenos situados fuera del cuadrante de las ciudades y todo urbanizador cederá gratuitamente al uso público tanto las áreas destinadas a vías como las correspondientes a parques y facilidades comunales; lo que cederá por los dos conceptos últimos se determinará en el respectivo reglamento, mediante la fijación de porcentajes del área total a fraccionar o urbanizar, que podrán fluctuar entre un cinco por ciento a un veinte por ciento, según el tamaño promedio de los lotes, el uso que se pretenda dar al terreno y las normas al respecto. No obstante, lo anterior, la suma de los terrenos que deben cederse para vías públicas, parques y facilidades comunales no excederá de un cuarenta y cinco por ciento de la superficie total del terreno a fraccionar o urbanizar. Asimismo, se exceptúa de la obligación a ceder áreas para parques y facilidades comunales a los simples fraccionamientos de parcelas en áreas previamente urbanizadas. No menos de una tercera parte del área representada por el porcentaje

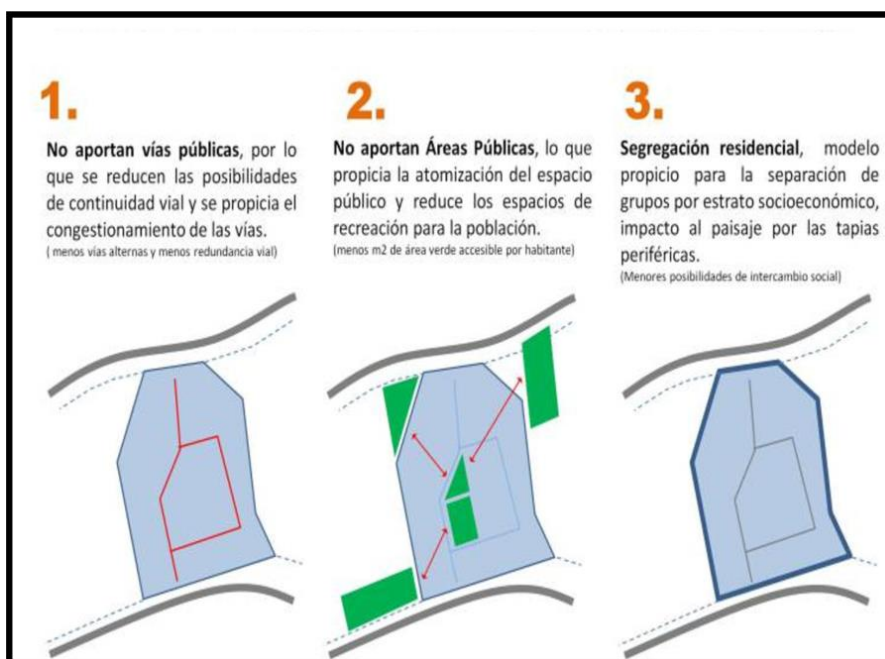
fijado conforme al párrafo anterior será aplicado indefectiblemente al uso de parque, pero reservando en primer término de ese tercio el o los espacios necesarios para campo o campos de juegos infantiles, en proporción que no sea inferior a diez metros cuadrados por cada familia; las áreas para juegos infantiles no podrán ser aceptadas si el fraccionador o urbanizador no las ha acondicionado debidamente, incluyendo su enzacatado e instalación del equipo requerido. Los dos tercios restantes del referido porcentaje o el remanente que de ellos quedase disponible después de cubiertas las necesidades de parque servirán para instalar facilidades comunales que en un principio proponga el fraccionador o urbanizador o luego en su defecto los adquirentes de lotes, pero que en todo caso ha de definir la Municipalidad. Las áreas aprovechables en facilidades comunales sólo podrán eliminarse o reducirse a cambio de alguna mejora u otra facilidad compensatoria, cuando de ello se obtenga un mayor beneficio para la comunidad. Hecha excepción de los derechos de vía para carreteras que han de cederse al Estado, conforme a lo antes dispuesto, las demás áreas de uso público deberán ser traspasadas a favor del dominio municipal. No obstante, la Municipalidad podrá autorizar que determinadas porciones sean transferidas directamente a las entidades estatales encargadas de establecer en las mismas los servicios o facilidades de su respectiva competencia, en concordancia con lo previsto en el párrafo inmediato anterior.

Otro proceso para considerar en la expansión urbana es la proliferación de las urbanizaciones cerradas bajo régimen de condominio, proceso que afecta el correcto desarrollo del tejido urbano. A partir de la aprobación del Reglamento de Condominios en año 2005 mediante el Decreto Ejecutivo No. 32303-MIVAH-MEIC-TUR, las urbanizaciones cerradas han sido eximidas de las

cesiones para calles y áreas públicas acordadas en la Ley de Planificación Urbana. Con base en el arquitecto Roy Allan Jiménez (2016), identifica los impactos que ejerce el desarrollo de condominios horizontales en la ciudad, y se muestran en la Figura 1.

Figura 1

Las comunidades cerradas bajo el formato de condominio horizontal acarrear muchas consecuencias negativas para las ciudades.



Fuente: Roy Allán Jiménez (2016).

Con base en la Ley Reguladora de la Propiedad en Condominio N° 7933 y el reglamento a la ley mediante el Decreto Ejecutivo N°32303-MIVAH-MEIC-TUR, se regulan tanto los condominios verticales, horizontales y mixtos, el primero de ellos implica que cada condómino es propietario exclusivo de parte de la edificación conformada en varios pisos y en común de todo el terreno, edificaciones o instalaciones de uso general; mientras que el condominio horizontal, implica que cada condómino es propietario exclusivo de un terreno propio y de la edificación

construida sobre él , asimismo es copropietario de las áreas comunes, y por último, el condominio mixto, representa la finca matriz donde puede presentarse condominios verticales y horizontales.

Estos procesos de fragmentación y crecimiento urbano ejercen una enorme presión sobre las áreas de protección de los ríos, afectando directamente la conservación y la calidad del recurso hídrico, por lo que, el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismos mediante el Reglamento para el Control Nacional de Fraccionamientos y Urbanizaciones, Capítulo 3 de Urbanización, profundiza en la protección de ríos (apartado III.3.7), menciona lo siguiente:

En el apartado III.3.7.1 se refiere al caso de urbanizar fincas que son atravesadas o colindantes con ríos o quebradas, en las cuales, se deberá proveerse una franja de no construcción con un ancho mínimo de 10 metros a lo largo del lecho máximo y medidos a cada lado de este, en la proyección horizontal. Esta franja será entregada al uso público, para efectos de limpieza, rectificación de cauces, bosque urbano, colocación de infraestructura de aguas similares. En el caso de que esta área, esté integrada plenamente el área de parque o que siendo de pendiente no mayor del 25% en frente a una calle y no a fondos del lote, se podrá computar como área pública. Además, es importante mencionar que la cesión del área para uso público se aplicará siempre que no exceda el 20% que fija la Ley de Planificación Urbana.

Para el caso de acequias y cauces de agua intermitentes, el apartado III.3.7.2, considera 5 metros en lugar de 10 metros. En el caso específico, donde se cumpla esta franja no construible a orillas de cauces de agua con un ancho de 5 metros, ubicados en distritos urbanos, según el apartado III.3.7.3, éstas deberán conformar una sola finca entre calles, no aptas para la construcción y deben tener carácter de protección al cauce.

Para el caso de cañones de río, los terrenos aledaños al cauce que tengan más del 25% de pendiente, según el apartado III.3.7.4, no podrán urbanizarse, para efectos de la cesión de áreas públicas estos terrenos no se computarán por no formar parte del área urbanizable. En dichas

laderas no se podrán realizar movimientos de tierra que alteren la topografía natural de terreno, esto implica prohibición de terraceo y depósito o extracción de materiales. Para casos muy calificados el INVU y la municipalidad podrán autorizar algunas de estas obras cuando se demuestre que no producirán deterioro a la ecología local.

Asimismo, en el apartado III.3.7.5, presentan el caso de terrenos con pendientes de más del 20 % o con laderas a orillas de cauces de agua, para las cuales se deberá presentar, acompañando al anteproyecto de la urbanización, estudios geológicos de la zona a urbanizar que demuestren que los terrenos son aptos para construir.

En cuanto a los terrenos que son atravesados por ríos, arroyos, o con presencia de manantiales, la Ley de Aguas N° 276, en el Capítulo N°9, artículo N°148, menciona lo siguiente:

Los propietarios de terrenos atravesados por ríos, arroyos, o aquellos en los cuales existan manantiales, en cuyas vegas o contornos hayan sido destruidos los bosques que les servían de abrigo, están obligados a sembrar árboles en las márgenes de los mismos ríos, arroyos o manantiales, a una distancia no mayor de cinco metros de las expresadas aguas, en todo el trayecto y su curso, comprendido en la respectiva propiedad.

Asimismo, se prohíbe destruir en terrenos particulares, los árboles ubicados a menos de cinco metros de los ríos o arroyos, según en el artículo N°150 de la misma ley y capítulo, la cual, menciona lo siguiente: “se prohíbe destruir, tanto en los bosques nacionales como en los terrenos particulares, los árboles situados a menos de cinco metros de los ríos o arroyos que discurran por sus predios.”

2.6. **Áreas de protección en terrenos municipales.**

En cuanto a terrenos municipales ubicados en las márgenes de los ríos, arroyos o manantiales o en cuencas hidrográficas en que broten manantiales o en que tenga sus orígenes o cabeceras cualquier curso de agua de que se surta alguna población, el artículo N° 154, menciona los siguientes:

Queda en absoluto prohibido a las Municipalidades enajenar, hipotecar o de otra manera comprometer las tierras que posean o que adquieran en las márgenes de los ríos, arroyos o manantiales o en cuencas u hoyas hidrográficas en que broten manantiales o en que tenga sus orígenes o cabeceras cualquier curso de agua de que se surta alguna población. En terrenos planos o de pequeño declive, tal prohibición abrazará desde luego una faja de cien metros a uno y otro lado de dichos ríos, arroyos y manantiales; y en las cuencas u hoyas hidrográficas, doscientos cincuenta metros a uno y otro lado de la depresión máxima, en toda la línea, a contar de la mayor altura inmediata.

De igual forma, en el artículo N° 155 prohíbe a las Municipalidades lo siguiente:

Dar en arriendo o a esquilmo, o prestar o por su propia cuenta explotar tales tierras, cuando para ese fin hubieren de descuajarse montes o destruirse árboles. Podrán, sí, autorizar u ordenar la corta o poda de árboles y utilizar las leñas o maderas, siempre que esto se ejecute en forma prudente y no perjudique la población forestal.

En el caso, que se hayan destruido los bosques que les servía de abrigo a los ríos, arroyos, o manantiales, que atraviesan terrenos municipales, en el artículo N° 156, menciona: “Las Municipalidades dispondrán sin pérdida de tiempo, lo que fuere oportuno para reforestar los terrenos de su propiedad que se encuentren en las condiciones que determina el artículo 148...”

A nivel de planificación local, el Cantón de Curridabat cuenta con el Plan Regulador Urbano, publicado en el Diario Oficial La Gaceta N°215 del 13 de noviembre de 1990, el cual cuenta con dos reformas, la publicada en la Gaceta N°197 del 15 de octubre de 1993, y la reforma parcial publicada en la Gaceta N° 225 del 21 de noviembre del 2013. No obstante, esta última incluye sólo parte del distrito de Curridabat. Al profundizar en dichos planes y reformas, el tema de área de protección es abordado en la reforma del 2013, en el capítulo N°9 sobre fraccionamiento en el área central del cantón de Curridabat, en el artículo N°123 donde indica que todo fraccionamiento de terrenos en el cantón cederá gratuitamente, a favor de la Municipalidad, para áreas verdes y facilidades comunales, como mínimo el diez por ciento del área total a fraccionar. Dentro del área a ceder gratuitamente, no se contará aquellas sujetas a restricciones, como son las áreas de protección a ríos, nacientes, etc.

2.7. Sanciones en el área de protección.

En cuanto a sanción por invadir las áreas de protección, en el artículo 58 inciso a y b) de la Ley Forestal 7575 define las siguientes penas, se impondrá prisión de tres meses a tres años a quien:

- a) Invada un área de conservación o protección, cualquiera que sea su categoría de manejo, u otras áreas de bosques o terrenos sometidos al régimen forestal, cualquiera que sea el área ocupada; independientemente de que se trate de terrenos privados del Estado u otros organismos de la Administración Pública o de dominio particular. Los autores o partícipes del acto no tendrán derecho a indemnización alguna por cualquier construcción u obra que hayan realizado en los terrenos invadidos.
- b) Aproveche los recursos forestales en terrenos del patrimonio natural del Estado y en las áreas de protección para fines diferentes de los establecidos en esta ley.

El verbo invadir utilizado en artículo anterior, es sinónimo a irrumpir, penetrar, acometer u **ocupar**, lo antepuesto tiene respaldo en el voto del Tribunal de Casación Penal de Goicoechea número 713-2003.

Otra sanción que se aplica en las áreas de protección está en el artículo 56 de la Ley para la Gestión Integral de Residuos N°8839, en donde se menciona la disposición ilegal de los desechos de la siguiente manera:

“Se impondrá la pena de prisión de dos a quince años a la persona que abandone, deposite o arroje en forma ilegal residuos peligrosos. La pena podrá aumentarse en un tercio cuando se abandonen, depositen o arrojen residuos peligrosos en áreas de protección del recurso hídrico, áreas silvestres protegidas, la zona marítimo-terrestre, aguas marinas o continentales y los cuerpos de agua destinados al consumo humano.”

CAPITULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación y estrategia general

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación pretende representar la realidad de las situaciones en las áreas de protección del casco urbano del Cantón de Curridabat; mediante la utilización, recopilación y generación de información que ayude a delimitar el área de protección, estableciendo si la misma está a nombre público o privado, además de cuantificar que porcentaje presenta uso no conforme e invasión al área de protección.

También pretende generar conocimiento y concientización sobre la realidad que presenta las áreas de protección de río en el área urbana, así como evaluar la reciente metodología generada por el INVU para el cálculo del área de protección.

3.1.2. Estrategia general

Uno de los objetivos de la investigación radica en la delimitación del área de protección del Río María Aguilar ubicada en la urbanización Pinares, para dicho fin, se establecen diferentes métodos para la identificación de la misma, uno de ellos implica la información presente en los diseños de sitio relacionado al área específica, otro método implica los alineamientos presentes en los planos catastrados, informes registrales de las fincas presentes en el área y por último se define mediante el artículo N°33 de la Ley Forestal N°7575, utilizando la metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU. Este último método requiere de insumos necesarios para realizar dicho cálculo, los cuales son: el Modelo Digital del Terreno, curvas de nivel, la capa de ríos, insumos generados en el año 2017.

Con respecto a los diseños de sitio, se solicitan al Registro Nacional y a la Municipalidad de Curridabat, a partir de dicha información se ordenan los diseños de sitio cronológicamente según

la etapa que representa, esto porque existen para una misma etapa varios diseños de sitio de diferentes fechas que la representa. A partir de dicho proceso, se define para cada etapa los diseños de sitio que representa la última modificación coincidente con el desarrollo urbano actual de la urbanización. Con base en estos diseños de sitio, se procede a georreferenciar y digitalizar las áreas de protección que se indica en cada uno de ellos.

Con respecto al método que involucra la información registral y catastral, fue necesario utilizar el mapa catastral generado por el Programa Regularización Catastro y Registro, así como, el mapa catastral generado por la Municipalidad de Curridabat, analizando la conformación y localización de las fincas y planos catastrados asociados al sitio, se logra identificar fincas y planos catastrados que no están ubicados, lo cual, provocó la digitalización y georreferenciación de las mismas, generando un nuevo mapa catastral.

Para el proceso de digitalización de fincas, se utilizó las ortofotos y cartografía a escala 1:1000, información generada en el año 2017, por el Registro Nacional, dicha información es la más reciente actualmente. Teniendo en cuenta la información registral de las fincas ubicadas en el área de protección, se procede a identificar cuales fincas presentan naturaleza a áreas o zona de protección de río; así como identificar las áreas de protección presentes en los planos catastrados, con el fin de digitalizarlas.

Otro objetivo de la investigación plantea la identificación y localización de escenarios registrales del área de protección de río, la cual, surge de la comparación del área de protección previamente identificada y la conformación de las fincas asociadas al área de estudio, clasificando e identificando cuanto porcentaje del área de protección está inscrita a nombre público, o privado, entre otros. Estos escenarios son fundamentales para establecer las estrategias para la protección y resguardo del área de protección.

Con base en los escenarios registrales identificados anteriormente y la delimitación del área de protección del río, se establecen los usos no conformes del área de protección, identificando estas áreas de conflicto mediante el levantamiento fotogramétrico generado por un Vehículo Aéreo No Tripulado, delimitando áreas con posibles invasiones al área de protección del río, dicha estrategia general se muestra en la Figura 2.

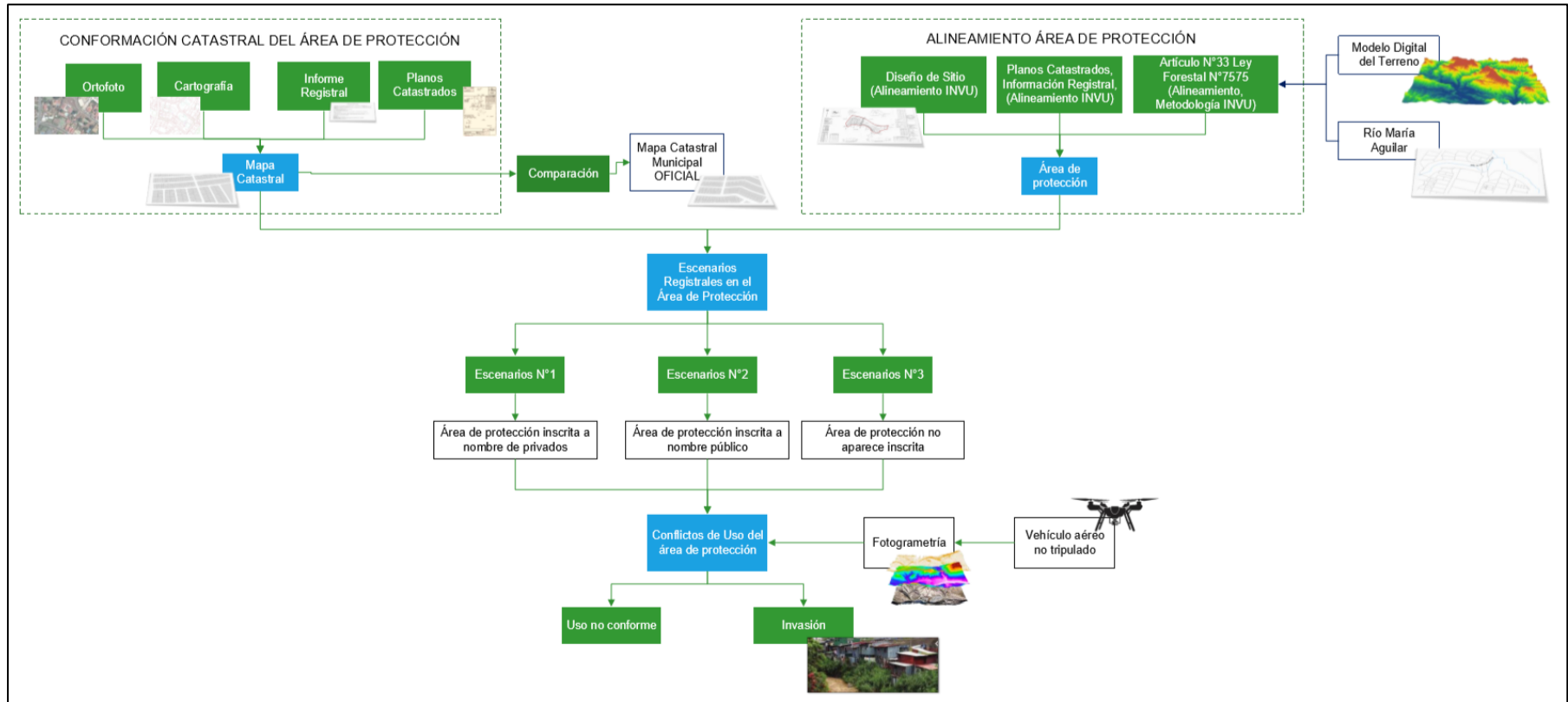
3.2. Definición de variables

Usos no conforme del área de protección: Se define como todo uso que no sea forestal en el área de protección del río.

Invasiones del área de protección: Con base en la Fiscalía Adjunta Agrario Ambiental Ministerio Público N°6, el delito de invasión de áreas de protección; se define como el área de protección de río que está siendo ocupada por obra civil de infraestructura (edificios, casas, porquerizas, establos, estacionamientos, piscinas, etc), así como, colocación de lastre, la colocación de objetos móviles, la ubicación de caminos que las atraviesen, cerramientos o tapias, entre muchos.

Figura 2

Diagrama de procesos



Fuente: elaboración propia.

3.3. **Recolección de datos**

3.3.1. *Métodos, técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.*

Para la delimitación del área de protección del Río María Aguilar ubicada en la urbanización Pinares, se establecen tres métodos, el primero de ellos implica la información presente en los diseños de sitio relacionado al área específica, el segundo método involucra los alineamientos presentes en los planos catastrados, así como, la información registral de las fincas (naturaleza) ubicadas en el área de estudio y el tercer método se define mediante el artículo N°33 de la Ley Forestal N°7575, utilizando la metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU. Este tercer método requiere de los insumos generados por Registro Nacional en el año 2017 para realizar el cálculo, los cuales son: el Modelo Digital del Terreno, curvas de nivel, la capa de ríos, etc.

Con respecto a los diseños de sitio, se solicitan al Registro Nacional y a la Municipalidad de Curridabat, y se identifica para cada una de las etapas, los diseños de sitio que representa la última modificación coincidente con el desarrollo urbano actual de la urbanización. Con base en estos diseños de sitio, se procede a georreferenciar y digitalizar las áreas de protección que se indica en cada uno de ellos, utilizando el programa ArcMap 10.6.1.®

Con el fin de identificar los posibles escenarios registrales y catastrales presentes en el área de estudio, se utilizó el mapa catastral generado por la Municipalidad de Curridabat, así como, el mapa catastral generado por el Proyecto de Regularización de Catastro y Registro, en donde se procedió a analizar e identificar las fincas ubicadas en el sitio, logrando asociar varias fincas que no estaban localizadas, por lo que, fue necesario georreferenciar y conformar un nuevo mapa catastral del sitio, utilizando el programa ArcMap 10.6.1.®

A partir de los escenarios registrales y catastrales, se logra establecer qué porcentaje del área de protección está registrada a nombre público o a nombre de terceros, y teniendo en cuenta el levantamiento fotogramétrico obtenido con un vehículo aéreo no tripulado (VANT), con el cual, se logra identificar las zonas que presentan posibles invasiones a las áreas de protección, promoviendo el control y protección de dichas zonas del Cantón de Curridabat.

Para realizar el levantamiento fotogramétrico fue necesario ubicar e identificar puntos de control utilizando el equipo GNSS/GPS RTK GEOMAX Zenith 40, mejorando la precisión y posteriormente realizar el vuelo con el vehículo aéreo no tripulado (Phantom 4 RTK y la estación D-RTK 2 Mobile Station) y posteriormente procesar la información con el programa Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Para el desarrollo de la investigación fue necesario contar con insumos tanto del Registro Nacional, como de la Municipalidad de Curridabat los cuales se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1

Insumos cartográficos y registrales necesarios para la delimitación del área de protección

| Insumos | Año | Fuente |
|----------------------------|------|-----------------------------|
| Diseños de Sitio | 2019 | Registro Nacional |
| | | Municipalidad de Curridabat |
| Planos Catastrados | 2019 | Registro Nacional |
| | | Municipalidad de Curridabat |
| Informe Registral | 2019 | Registro Nacional |
| Mapa Catastral | 2017 | Registro Nacional |
| Mapa Catastral Municipal | 2019 | Municipalidad de Curridabat |
| Cartografía | 2017 | Registro Nacional |
| Ortofoto | 2017 | Registro Nacional |
| Modelo Digital del Terreno | 2017 | Registro Nacional |

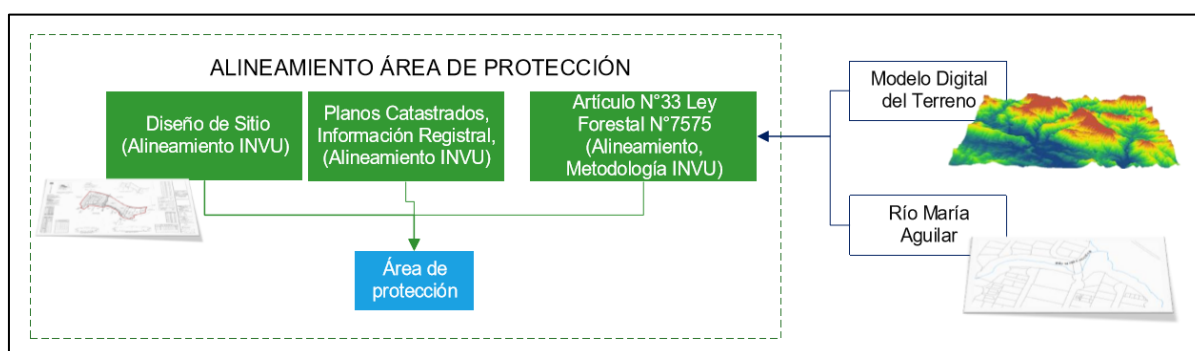
Fuente: elaboración propia.

3.4. Delimitación del área de protección del río

Con el fin de delimitar el área de protección del Río María Aguilar ubicada en la urbanización Pinares, se identifican diferentes métodos para la identificación de la misma, uno de ellos implica la información presente en el diseño de sitio relacionado al área específica, otro método implica los alineamientos presentes en los planos catastrados y por último se define mediante el artículo N°33 de la Ley Forestal N°7575, utilizando la metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU, así como, insumo el Modelo Digital del Terreno, la capa de ríos generados para año 2017, por el Registro Nacional, estableciendo las áreas reservadas para la protección del río María Aguilar (Figura 3).

Figura 3

Alineamiento del área de protección de río



Fuente: elaboración propia.

3.4.1. Alineamiento del área de protección según diseño de sitio

Para delimitar el área de protección del Río María Aguilar ubicada en la urbanización Pinares, se identifican los diseños de sitio relacionados al área específica, y con ellos, establecer las áreas reservadas para la protección del río María Aguilar. A partir de dicha búsqueda, se logra relacionar las etapas N°4, N°5, N°6, N°7 y N°8 de la Urbanización de Pinares.

Con respecto a la etapa N°5, se identifican dos diseños de sitio, el primero de ellos con fecha de marzo de 1992, el segundo con fecha de julio de 1992, por lo que, para la etapa 4 de la urbanización Pinares se utiliza el diseño de sitio con fecha de julio de 1992, por ser el diseño de sitio más reciente (Figura 5).

Figura 5

Diseños de sitio de la Urbanización Pinares etapa N°5



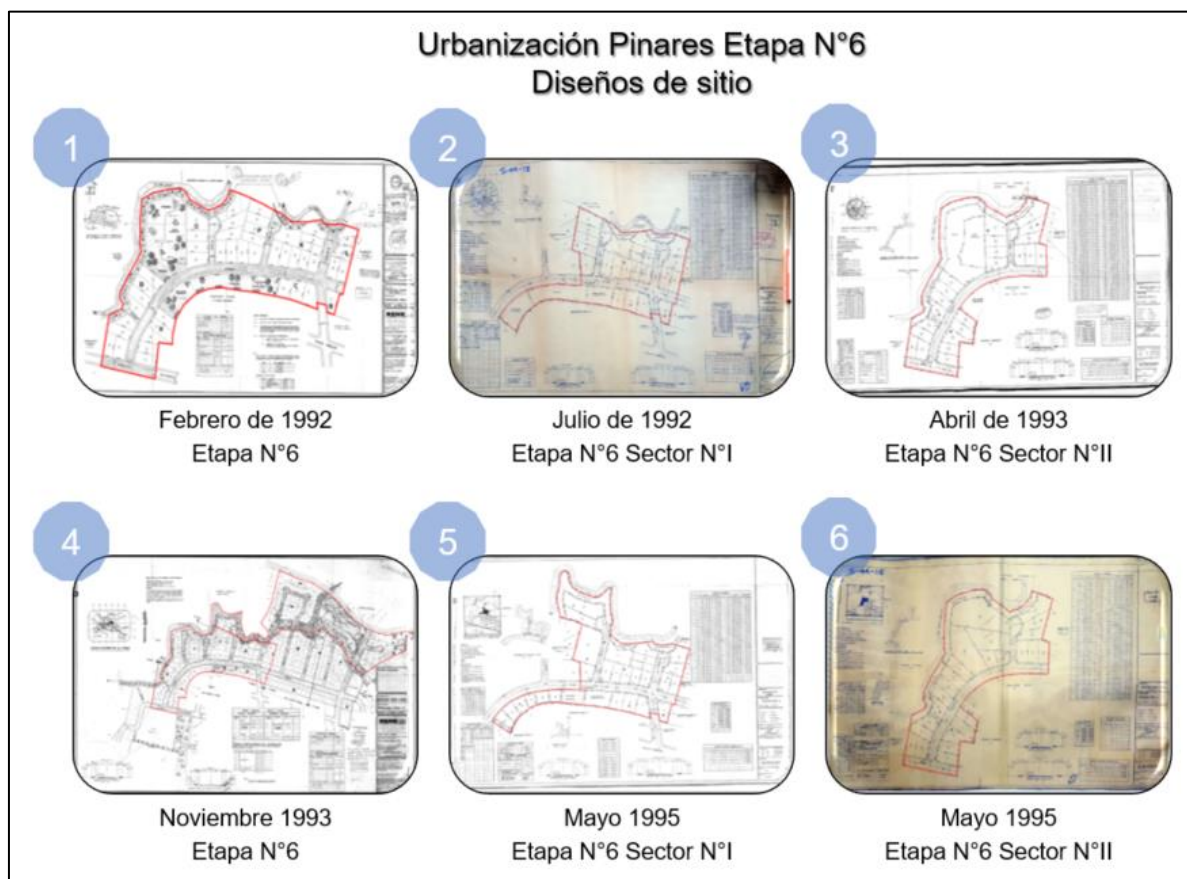
Fuente: Municipalidad de Curridabat.

En cuanto a la etapa N°6, se identificaron seis diseños de sitio, algunos de ellos representan el área total de dicha etapa, y otros diseños dividen la etapa en sector N°I y sector N°II. El primer diseño de sitio de la etapa N°6, identificado en orden cronológico, tiene fecha febrero de 1992, y representa completamente el área de la etapa N°6. El segundo diseño tiene fecha de julio 1992 y representa el sector N° I de la etapa N°6, el tercer diseño tiene fecha de abril de 1993 y representa el sector N° II de la etapa N°6, con respecto al cuarto diseño tiene fecha de noviembre de 1993 y representa completamente el área de la etapa N°6. En cuanto, al quinto y sexto diseño de sitio,

tienen fecha de mayo de 1995 y representan los sectores N°I y N°II de la etapa N°6, respectivamente. Por lo que, para identificar las áreas de protección de la etapa N°6 de la urbanización Pinares, se debe estos dos últimos diseños de sitio, por ser los más reciente (Figura 6).

Figura 6

Diseños de sitio de la Urbanización Pinares etapa N°6



Fuente: Municipalidad de Curridabat.

Con respecto a la etapa N°7, se identifican un diseño de sitio, con fecha de mayo de 1993, por lo que, se utiliza el diseño de sitio, aprobado por el INVU y la Municipalidad de Curridabat (Figura 7).

Figura 7

Diseños de sitio de la Urbanización Pinares etapa N°7



Fuente: Municipalidad de Curridabat.

Con respecto a la etapa N°8, se identifican tres diseños de sitio, el primero de ellos con fecha de noviembre de 1993, el segundo con fecha de mayo de 1995 y el último con fecha de mayo de 1996, por lo que, para la etapa 8 de la urbanización Pinares se utiliza el diseño de sitio con fecha de mayo de 1996, por ser el diseño de sitio más reciente, aprobado por el INVU y la Municipalidad de Curridabat (Figura 8).

Figura 8

Diseños de sitio de la Urbanización Pinares etapa N°8

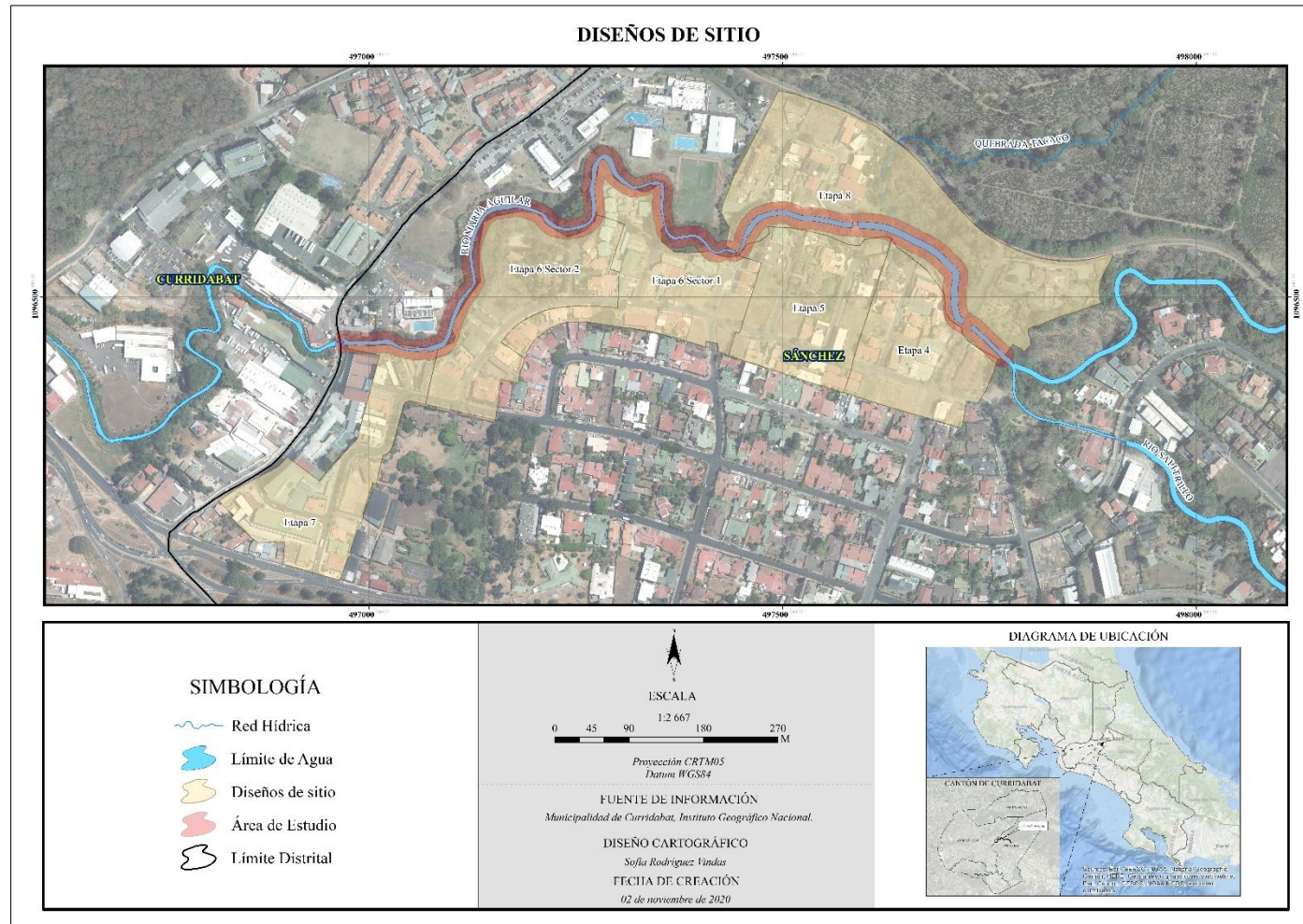


Fuente: Municipalidad de Curridabat.

Con base en los diseños de sitio anteriormente identificados, vigentes de las etapas N°4, N°5, N°6, N°7 y N°8 de la urbanización Pinares, se procede a la georreferenciación de los diseños utilizando como insumo ortofotos escala 1:1000, cartografía 1:1000 y mapa catastral municipal, con el fin de digitalizar las áreas de protección presentes en ellas (Mapa 2).

Mapa 2

Ubicación de los diseños de sitio

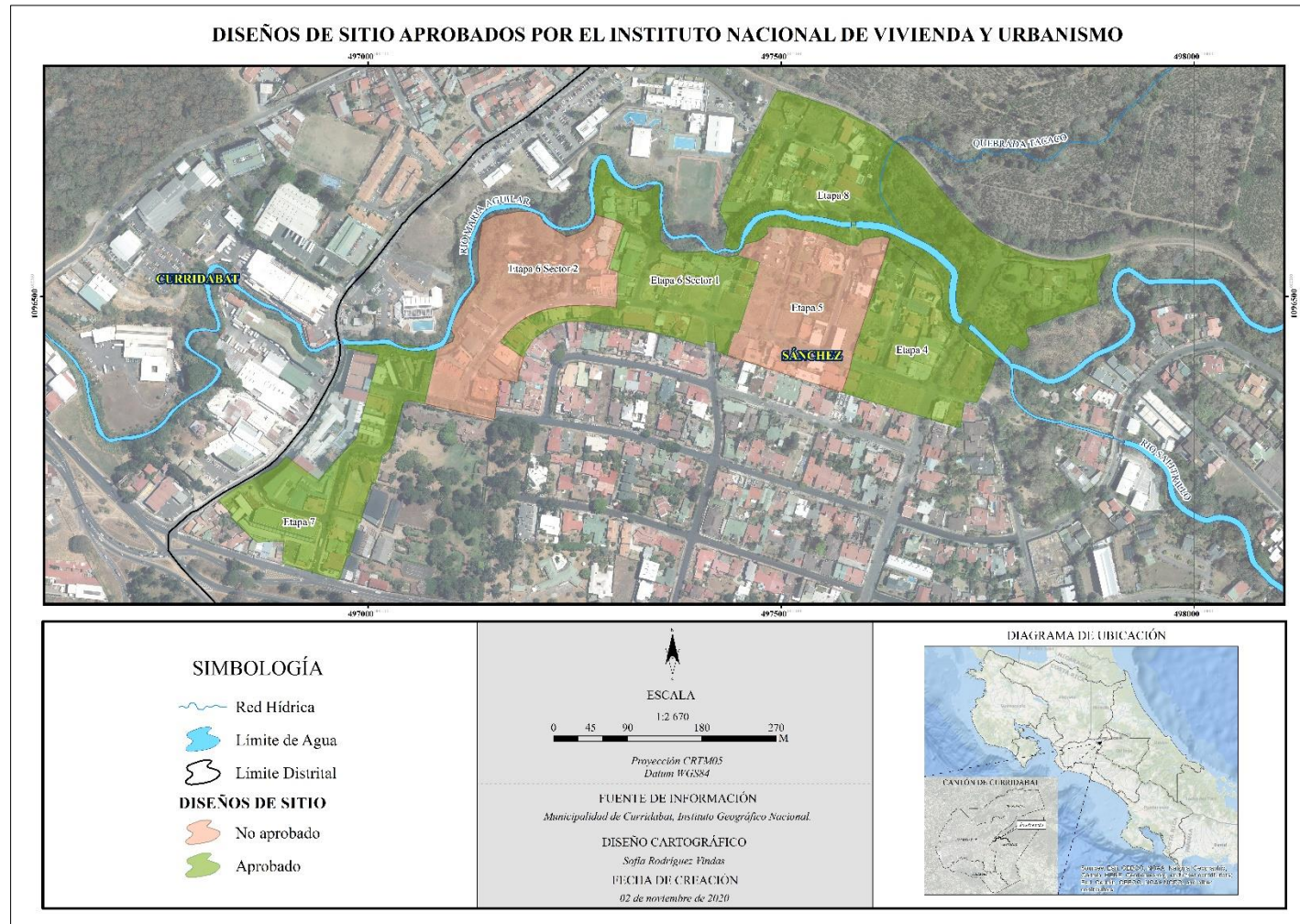


Fuente: elaboración propia.

Seguidamente, se muestran los diseños de sitio que presentan el sello con la aprobación del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, los cuales corresponden a las siguientes Etapas: Etapa 4, Etapa 6 Sector 1, Etapa 7 y Etapa 8 (Mapa 3).

Mapa 3

Diseños de Sitio Aprobados por el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo

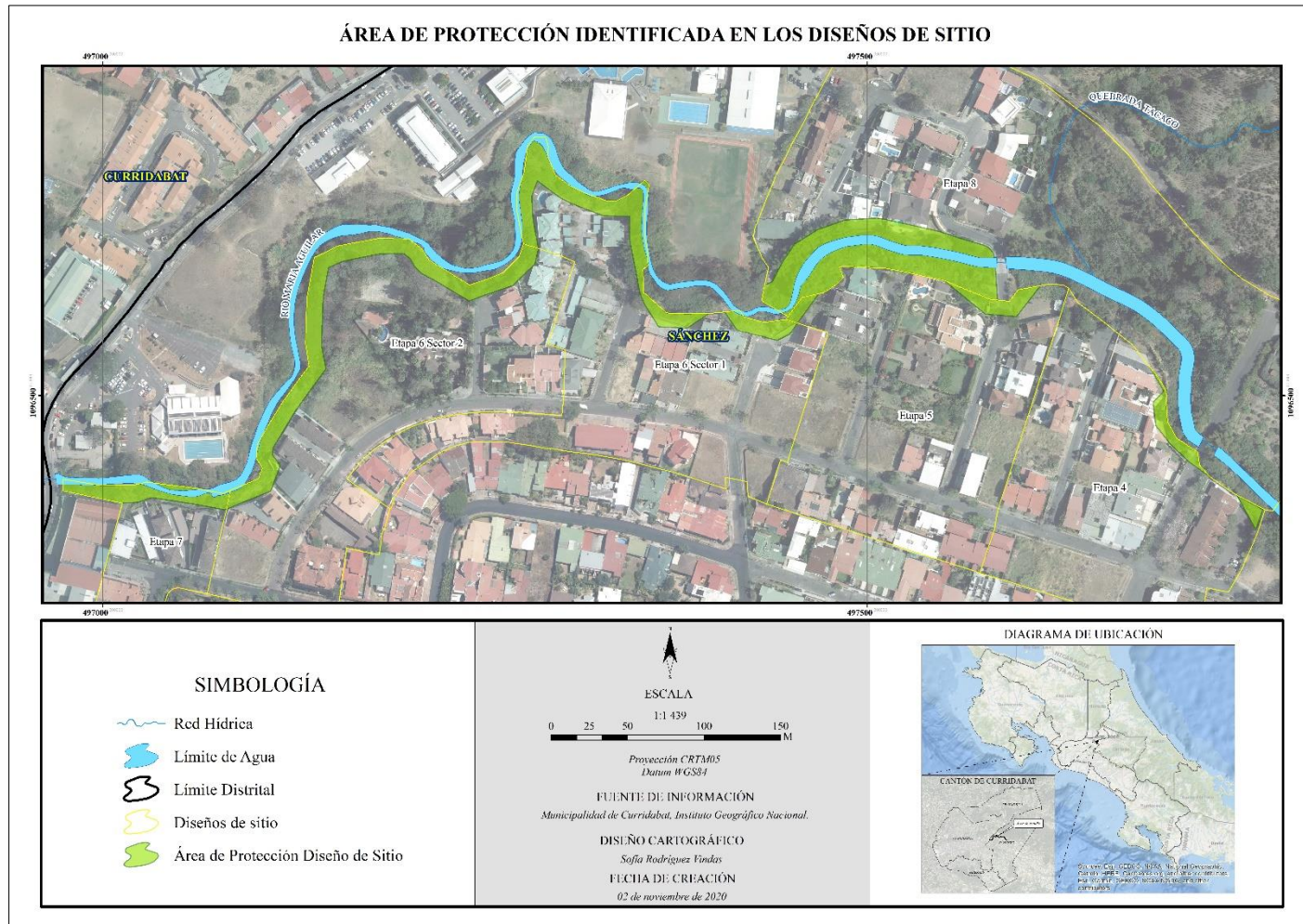


Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta los diseños de sitio anteriormente descritos para cada una de las etapas, se identifican las siguientes áreas de protección de río relacionadas con el área de estudio (Mapa 4).

Mapa 4

Área de protección presente en los Diseños de Sitio



Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Alineamiento del área de protección según Información Catastral y Registral

Para delimitar el área de protección del Río María Aguilar ubicada en la urbanización Pinares, se procedió a identificar las fincas ubicadas en el área de estudio, logrando situar 112 expedientes análogos, los cuales fueron verificados uno a uno, con el fin de determinar la existencia de planos catastrados que presentan el sello de alineamiento del INVU (Anexo 1). Asimismo, se procedió a la georreferenciación de los planos catastrados los cuales fueron dibujados a partir del derrotero y fincas relacionadas al área, generando las capas llamadas Mosaico Catastral y Mapa Catastral, las cuales se profundizará más adelante. A partir de dicho producto, se identificaron los números de finca y planos catastrados relacionados al área reservada para la protección del río María Aguilar, teniendo en cuenta la naturaleza registral de las fincas, así como, los retiros establecidos por el INVU reflejados en los planos catastrados. Como resultado de dicha búsqueda, se logra relacionar las siguientes fincas y planos catastrados de la Urbanización de Pinares ubicadas en el área de protección del Río María Aguilar y se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Fincas y planos catastrados del área de protección del Río María Aguilar.

| Finca | Plano según Registro | Plano Asociado | Propietario | Naturaleza | Gravámenes o Afectaciones | Área |
|------------|----------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------|
| 235979-000 | NA | SJ-18147-1975 | Urbanizadora Freses Sociedad Anónima | Terreno destinado a zonas de protección de ríos y quebradas | Área de Afectación Demanial | 3630,68 |
| 320810-000 | SJ-179655-1982 | SJ-479655-1982 | Urbanizadora Freses Sociedad Anónima | Área destinada a protección de ríos y quebradas | Área de Afectación Demanial | 4632,77 |
| 435923-000 | SJ-0267830-1995 | NA | Municipalidad de Curridabat | Terreno destinado a zona de protección de río lote 33 | NA | 5230,89 |
| 435927-000 | SJ-0277828-1995 | SJ-0267828-1995 | Municipalidad de Curridabat | Terreno destinado a parque lote 37 | NA | 17279,8 |

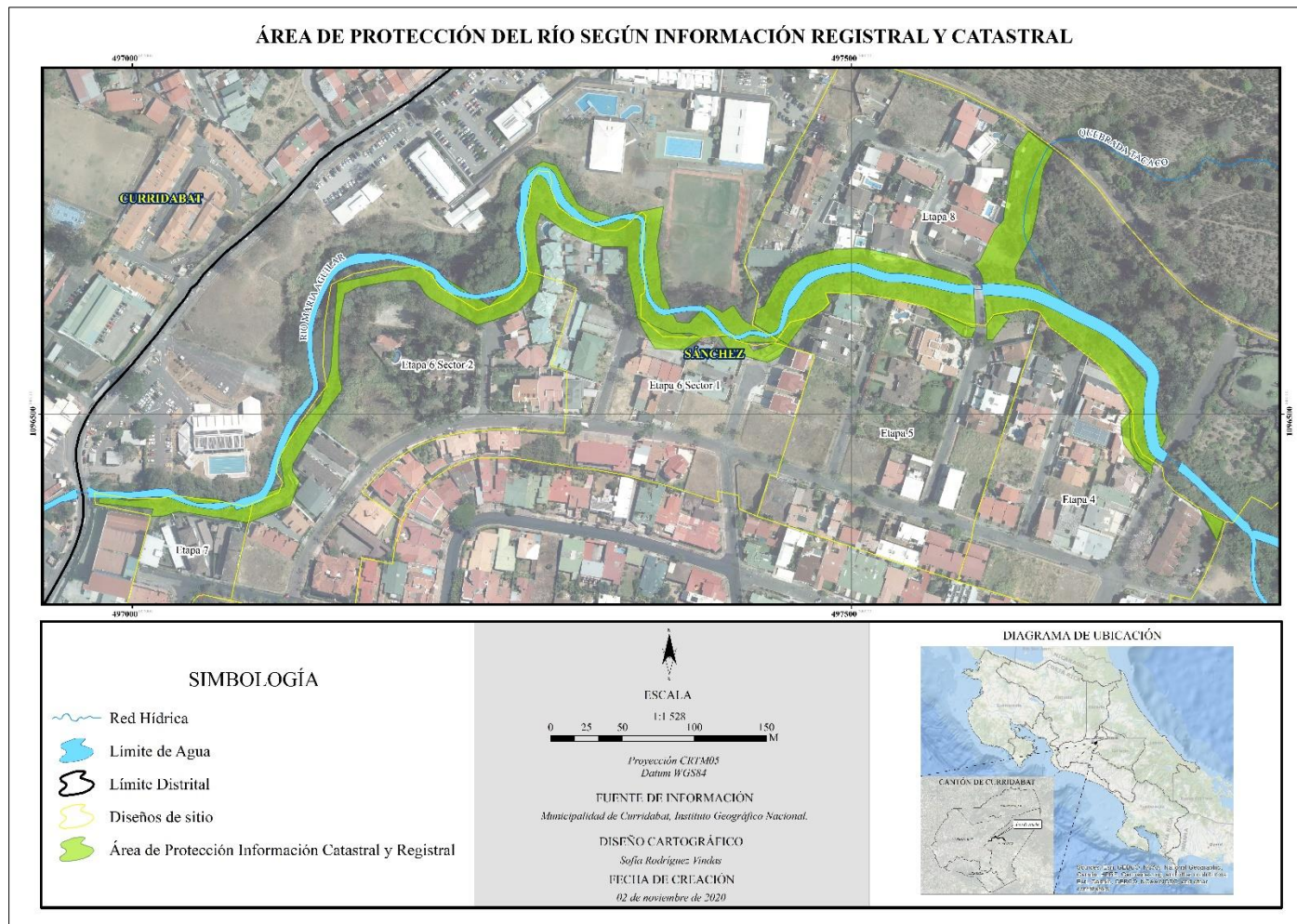
Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta la información de la Tabla 2, se logra observar que dos de las fincas están a nombre de un tercero, que, a su vez, presentan como gravamen o afectación, indicando que dichas fincas son áreas de afectación demanial. Lo que implica que estas áreas pertenecen al demanio público, por lo que, dicho gravamen inmoviliza estas propiedades para evitar cualquier tipo movimiento registral que el propietario (tercero) quiera realizar.

Seguidamente, se muestran las áreas de protección delimitadas según información registral y catastral para el área de estudio (Mapa 5).

Mapa 5

Área de protección según información registral y catastral.



Fuente: elaboración propia.

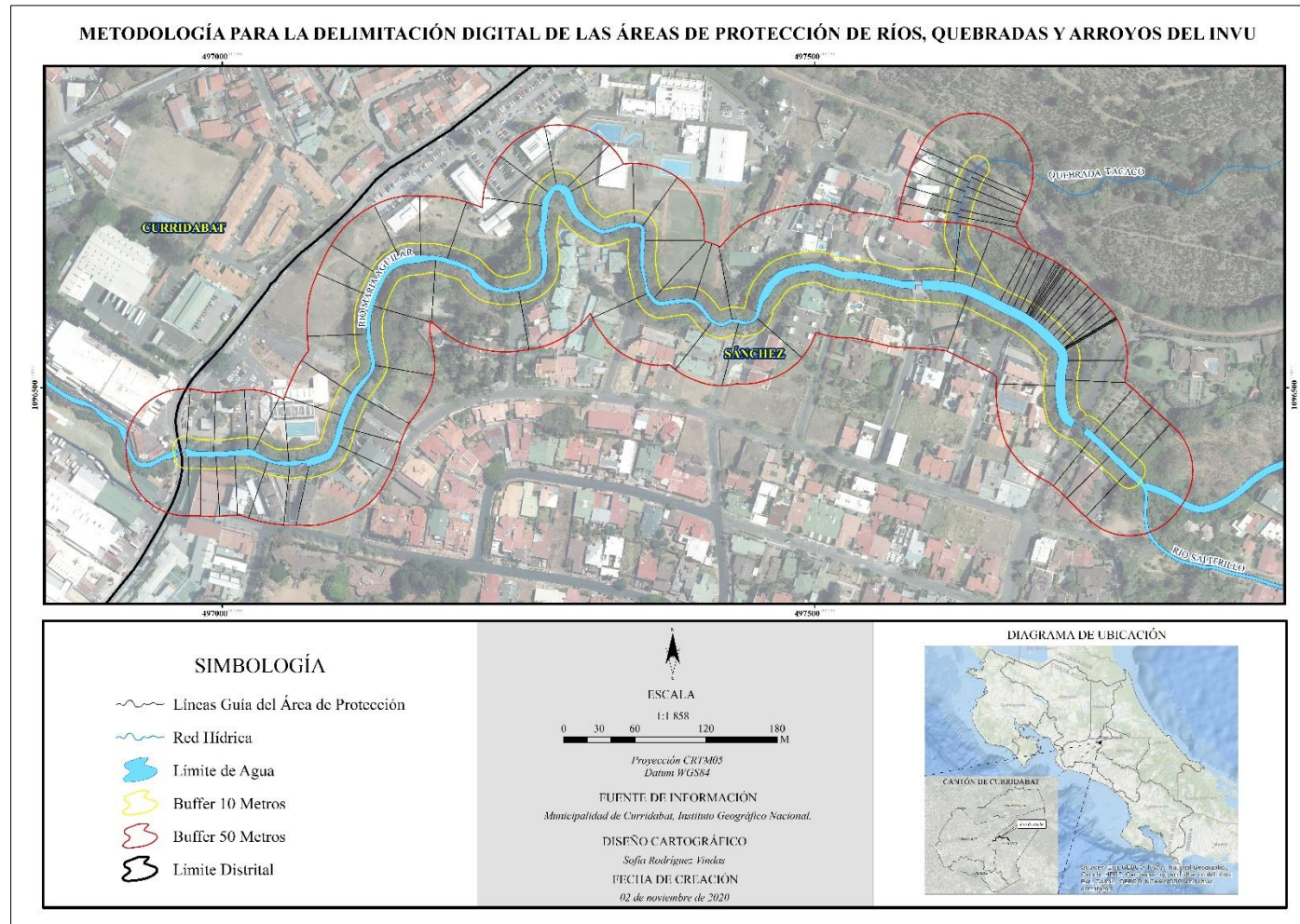
3.4.3. Alineamiento del área de protección según metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU

Teniendo en cuenta la identificación del área de protección del Río María Aguilar anteriormente delimitada mediante los diseños de sitio relacionados y según Información Catastral y Registral, se logra establecer áreas reservadas para la protección del río María Aguilar que no están presentes en esta delimitación. Por lo que a partir de la metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU, se logra identificar para estas áreas faltantes la delimitación del área de protección del Río María Aguilar. Como paso preliminar para realizar el cálculo según la metodología del INVU, se determina que la zona donde se va aplicar es una zona meramente urbana, partiendo de este escenario, se genera los siguientes pasos:

PASO N°1: Generar una línea base, mediante un buffer, a partir de la red hídrica extraída de la cartografía del año 2017, a 10 metros y a 50 metros para tener una línea base. A partir de ahí, se generaron líneas perpendiculares (líneas guías) al margen del río (de 50 metros, según el INVU) en las áreas donde no se logró delimitar el área de protección del río, estableciendo lugares estratégicos en donde se podían observar cambios de pendiente, con respecto a las curvas de nivel y modelo digital del terreno generadas para el año 2017 (Mapa 6).

Mapa 6

Metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyos del INVU.



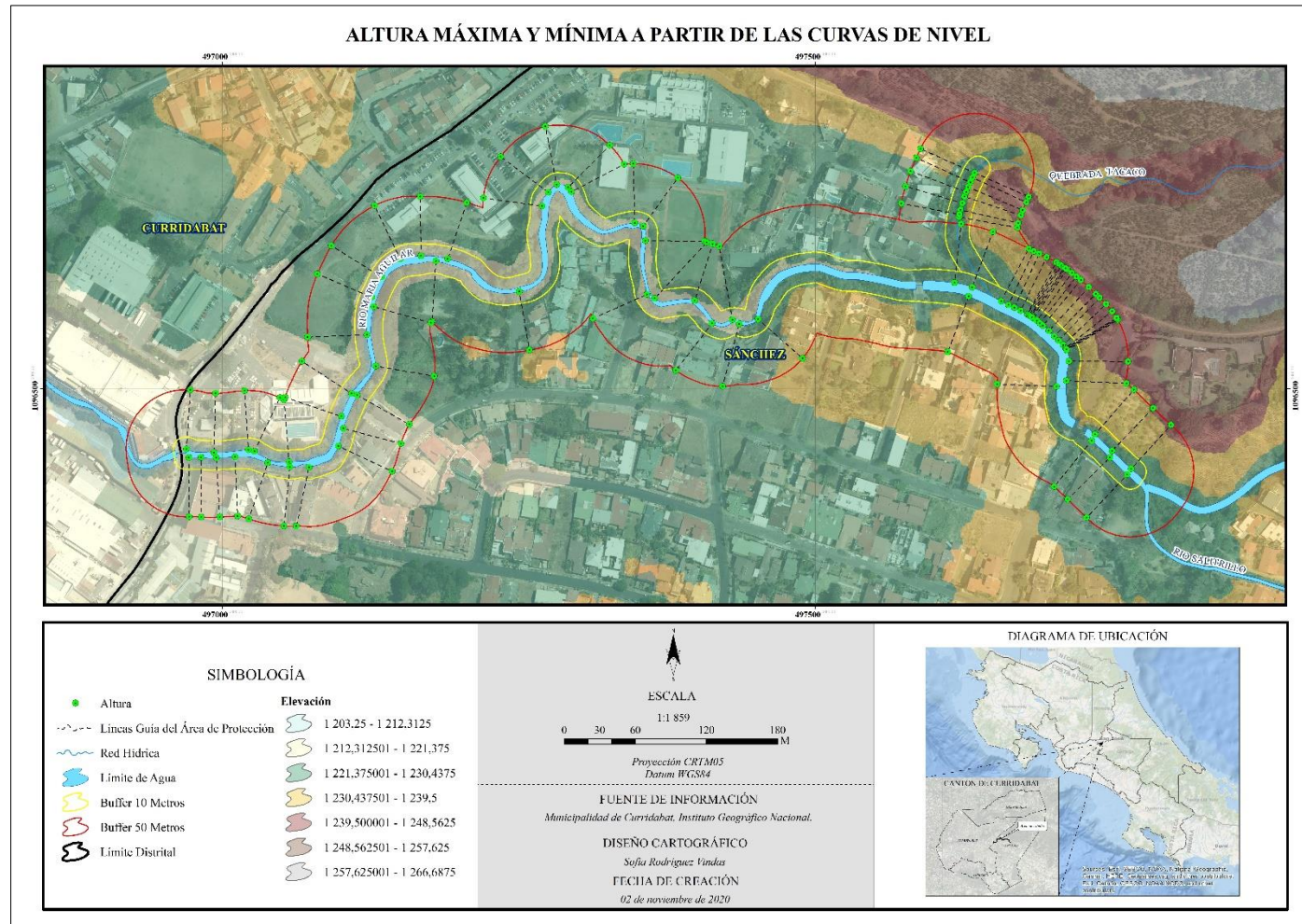
Fuente: elaboración propia.

PASO N°2: Determinación de puntos máximos y mínimos de altura a partir de curvas de nivel.

Una vez identificados los sitios estratégicos para corroborar la pendiente, se identifica la altura del punto máximo y del punto mínimo sobre el nivel del mar, en la línea de 50 metros de longitud, con la ayuda de un modelo digital del terreno (MDT) basado en las curvas de nivel, cada 2 metros, para determinar el área de protección que corresponda, según su pendiente (10 metros en terreno plano urbano, 50 metros en terreno quebrado) (Mapa 7).

Mapa 7

Altura máxima y mínima



Fuente: elaboración propia.

PASO 3. Aplicación de la fórmula, para lograr la determinación del porcentaje de la pendiente (Figura 9).

Figura 9

Fórmula para determinar la pendiente

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>FÓRMULA</p> <p>Determinación del porcentaje de la pendiente</p> $\% \text{ Pendiente} = \frac{\Delta H}{\Delta D} \times 100$ | <p>ΔH</p> <p><i>Diferencia de altura entre el punto de altura máxima y el punto de altura mínimo de cada una de las líneas, que van desde el margen del río hasta la línea de 50 metros de longitud.</i></p> |
| | <p>ΔD</p> <p><i>Corresponden a la distancia máxima a la que se puede extenderse el área de protección, 50 metros que son los estipulados por el INVU.</i></p> |

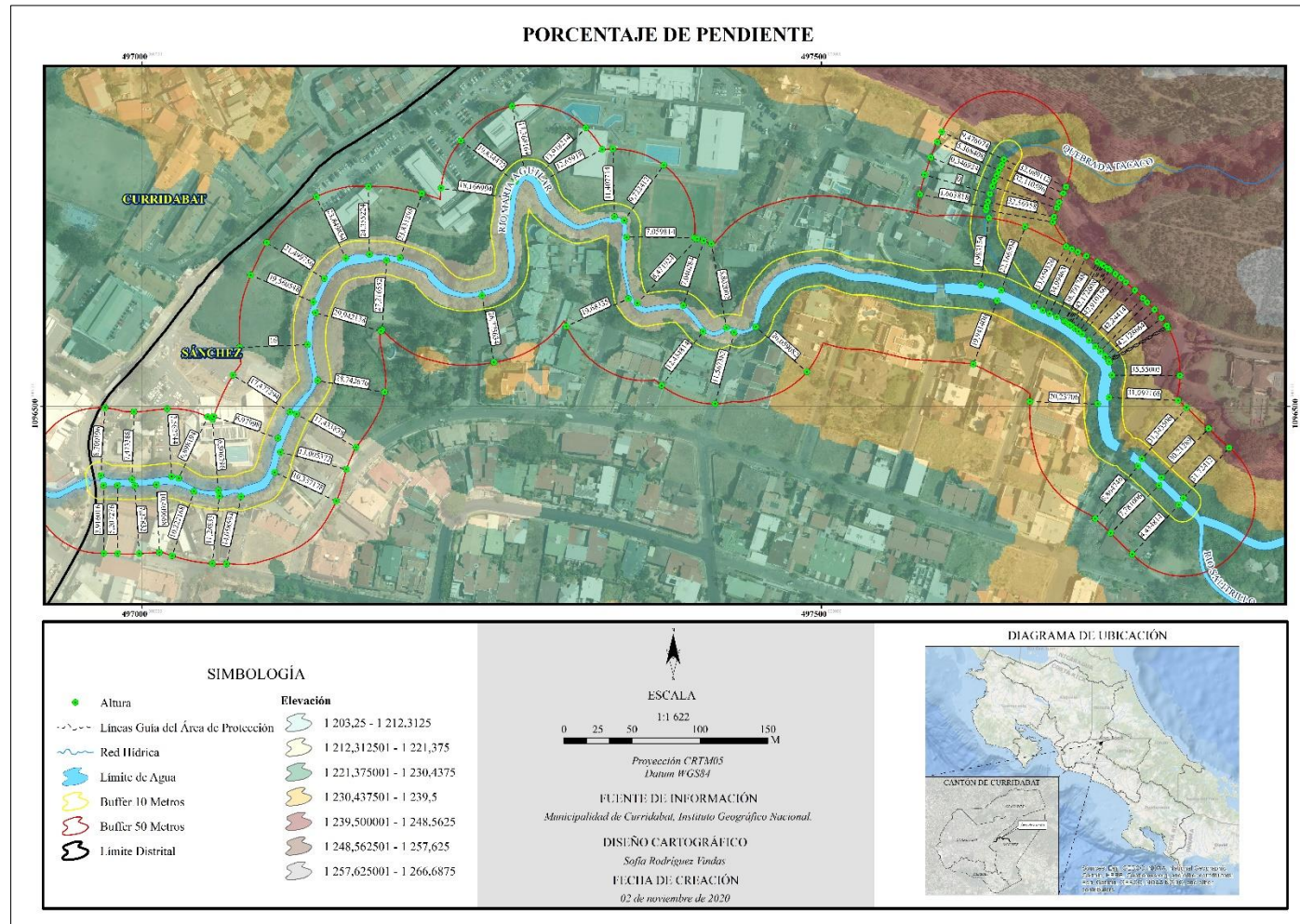
Fuente: Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo

Una vez obtenido el porcentaje de pendiente, podemos determinar el área de protección que le corresponde, aplicando el marco legal vigente. Así, de conformidad con el inciso v) del artículo 2 del Reglamento a la Ley Forestal (Decreto Ejecutivo N°25721), que define terrenos quebrados como “aquellos con pendiente promedio superior al 40%”, en concordancia con el artículo 33 inciso b) de la Ley Forestal N°7575, que señala que “(...) Se declaran áreas de protección (...) una franja de 50 metros horizontales, si el terreno es quebrado”.

PASO 4. Proyección del área de protección, siguiendo las líneas base y aplicando los artículos de la Ley Forestal y su reglamento, previamente señalados, se realizó un polígono a lo largo del río, el cual corresponde a la delimitación del área de protección (Mapa 8).

Mapa 8

Porcentaje de pendiente

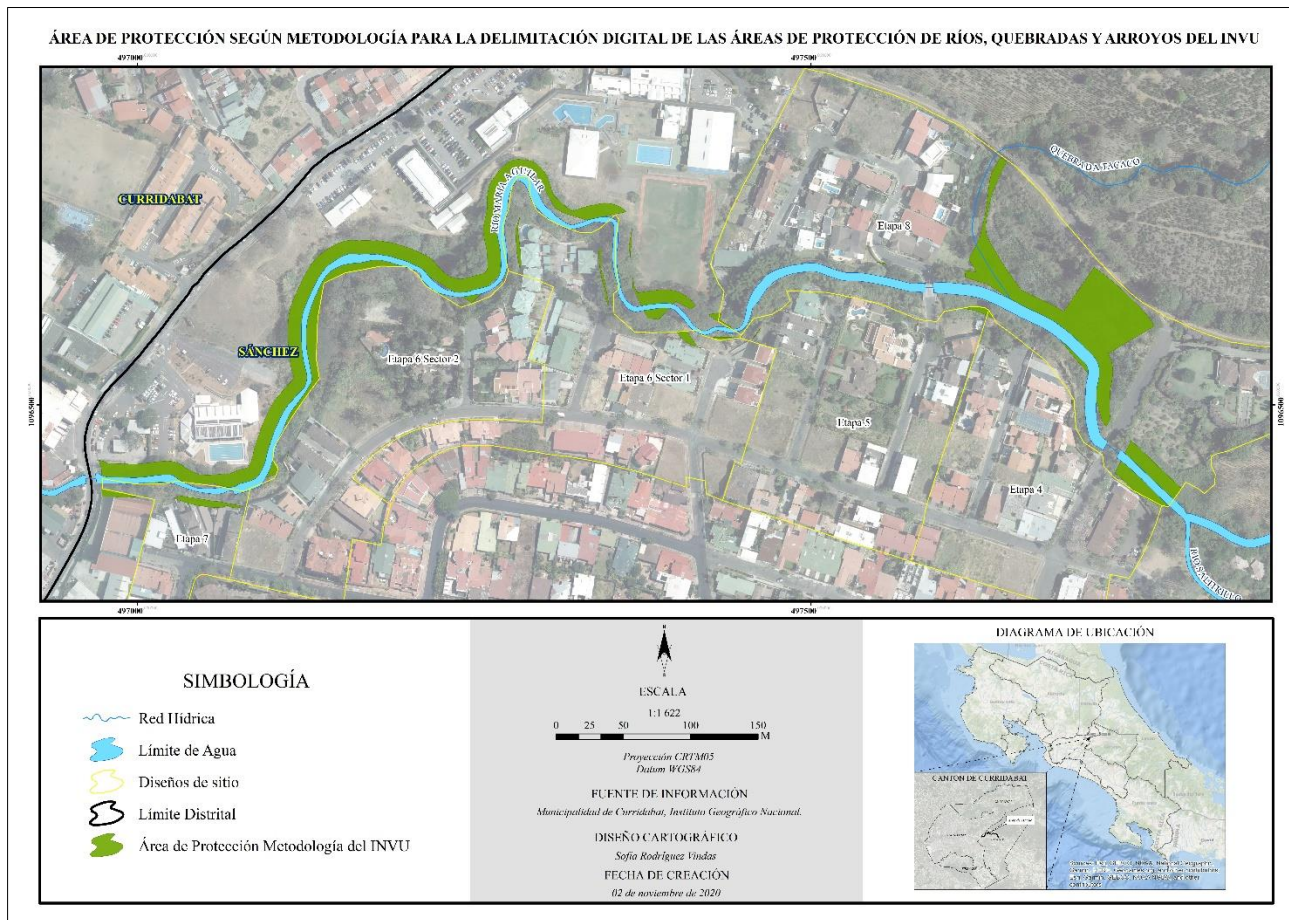


Fuente: elaboración propia.

Como resultado de dicho procedimiento, se muestran las áreas de protección delimitadas según la metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU, para el área de estudio (Mapa 9).

Mapa 9

Área de protección según buffer de 10m o 50m con base en la metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU.

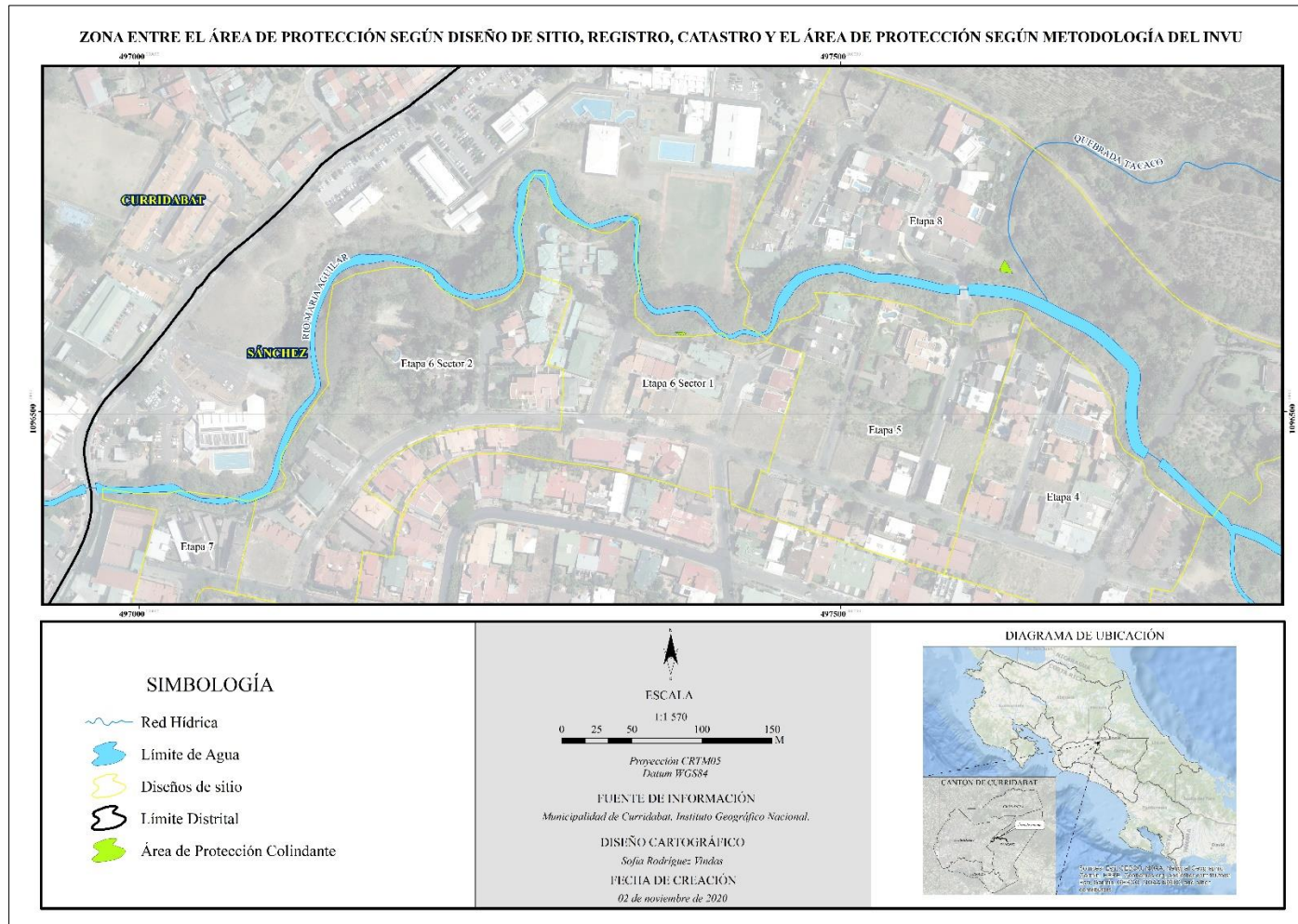


Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta los tres métodos anteriormente establecidos, para la delimitación e identificación del área de protección y al unificar las tres capas generadas por cada uno de los métodos, se logra identificar dos pequeñas áreas ubicadas entre el área delimitada para la protección de río (Mapa 10).

Mapa 10

Área de extra



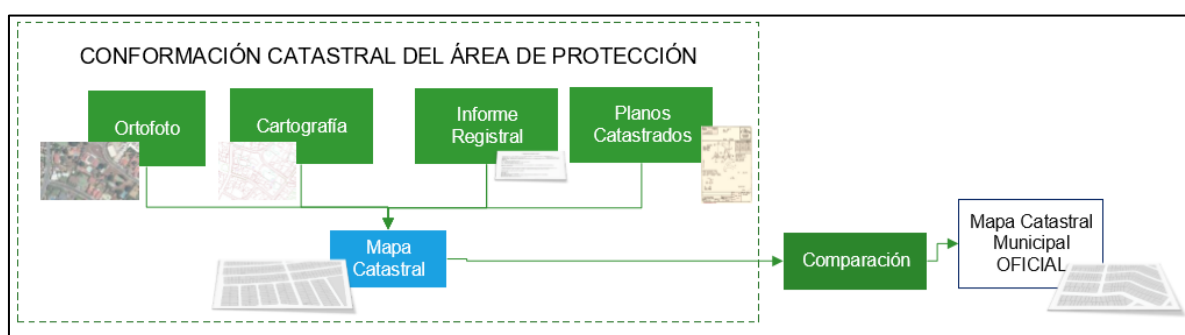
Fuente: elaboración propia.

3.5. Escenarios catastrales y registrales

Como estrategia inicial se debe solicitar a la Municipalidad de Curridabat, al Instituto Geográfico Nacional y al Registro Nacional los siguientes insumos asociados al área de estudio: ortofotos, cartografía, información registral, planos catastrados, mapa catastral oficial municipal y el mapa catastral del Distrito de Sánchez insumo de registro (Figura 10).

Figura 10

Conformación Catastral y Registral del área de protección de río

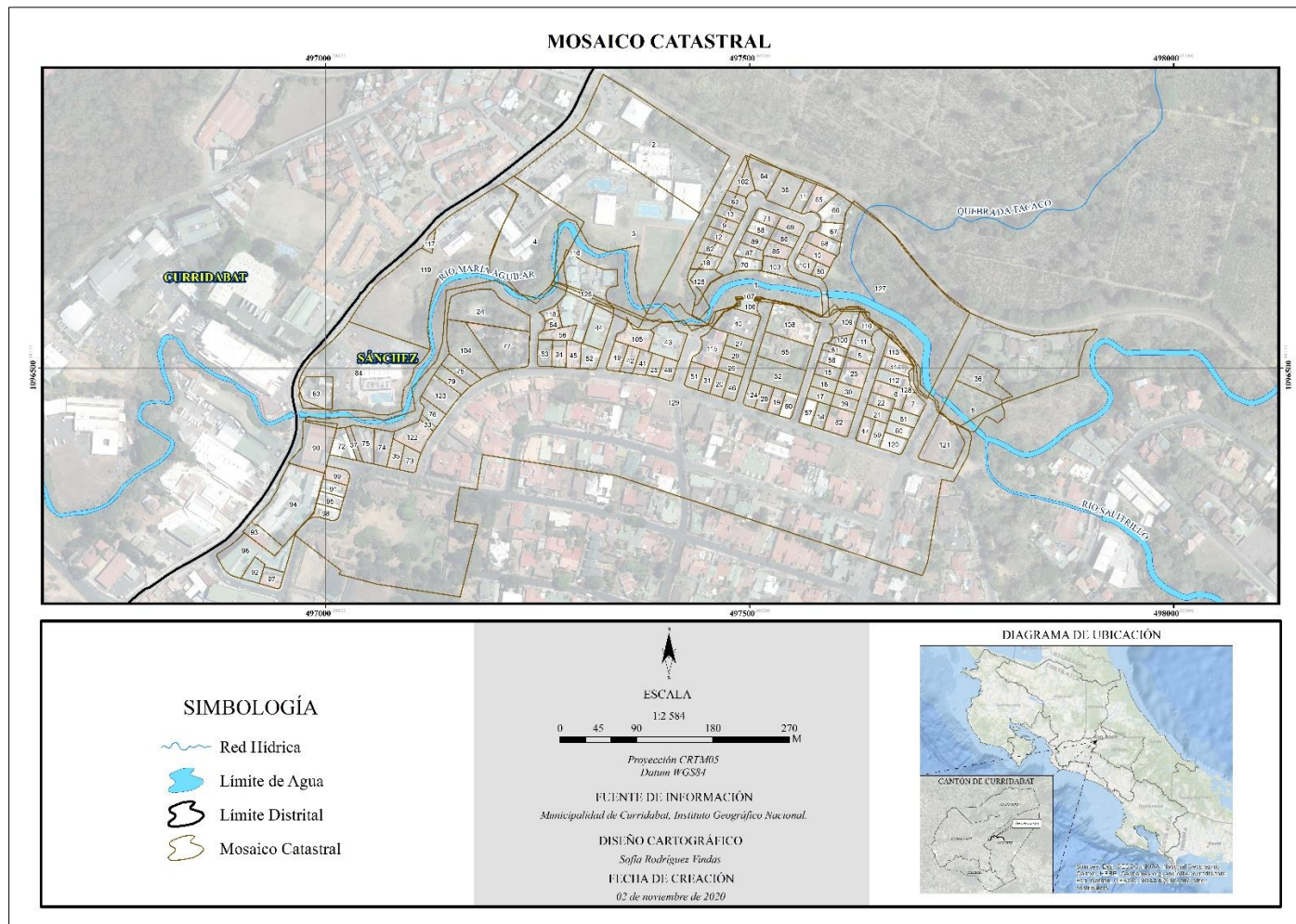


Fuente: elaboración propia.

Con base en la información Registral y Catastral, se procede a identificar las fincas ubicadas en el área de estudio, así como, los planos catastrados relacionados a cada una de ellas. Al identificar dichas fincas, el paso a seguir es la digitalización de 129 planos catastrados, para este procedimiento se utiliza el derrotero, generado el mosaico catastral (Mapa 11).

Mapa 11

Mosaico Catastral



Fuente: elaboración propia.

Con base en el mosaico catastral anteriormente generado se procede a conformar el mapa catastral de las fincas que colindan con el área de protección del río. Para dicho proceso es importante verificar la siguiente información: Número de Folio Real, Número de plano catastrado, Área Registral, Área del plano catastrado, propietario registral, naturaleza registral, gravámenes, determinar si el plano modifica a un plano anterior a él.

3.6. Levantamiento de puntos de control

Para realizar el levantamiento fotogramétrico, es importante mejorar la precisión del modelo a generar, mediante el levantamiento de puntos de control, creando un producto confiable para la identificación de sitios con posibles invasiones al área de protección.

Por esta razón, fue necesario realizar la visita de campo el miércoles 12 de febrero de 2020, donde se procedió a ubicar 2 puntos de control, utilizando el equipo GNSS/GPS RTK GEOMAX Zenith 40 (Figura 11). Según la empresa Geonorte Suministros Topográficos, este equipo se caracteriza por tener las siguientes especificaciones:

- En cuanto a capacidad de rastreo, cuenta 555 canales, multifrecuencia / constelación.
- Funcionalidad Q-Lock Pro™ con Motor de medición NovAtel OEM7.
- Rastreo de constelaciones GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, QZSS, NavIC L5.
- Posicionamiento Preciso de Punto (PPP) TerraStar C Pro; GPS / GLONASS permite realizar posicionamiento en tiempo real con Satélites Geoestacionarios.
- Índice de Protección con Polvo y Agua IP68.
- Temperatura de trabajo -40 ° C hasta 65 ° C.
- Radio Interna Novatel.
- Colectora Android ZENIUS X con software de campo X-PAD.
- Baterías de hasta 9 horas.

Figura 11

Equipo GNSS/GPS RTK GEOMAX Zenith 40



Fuente: elaboración propia.

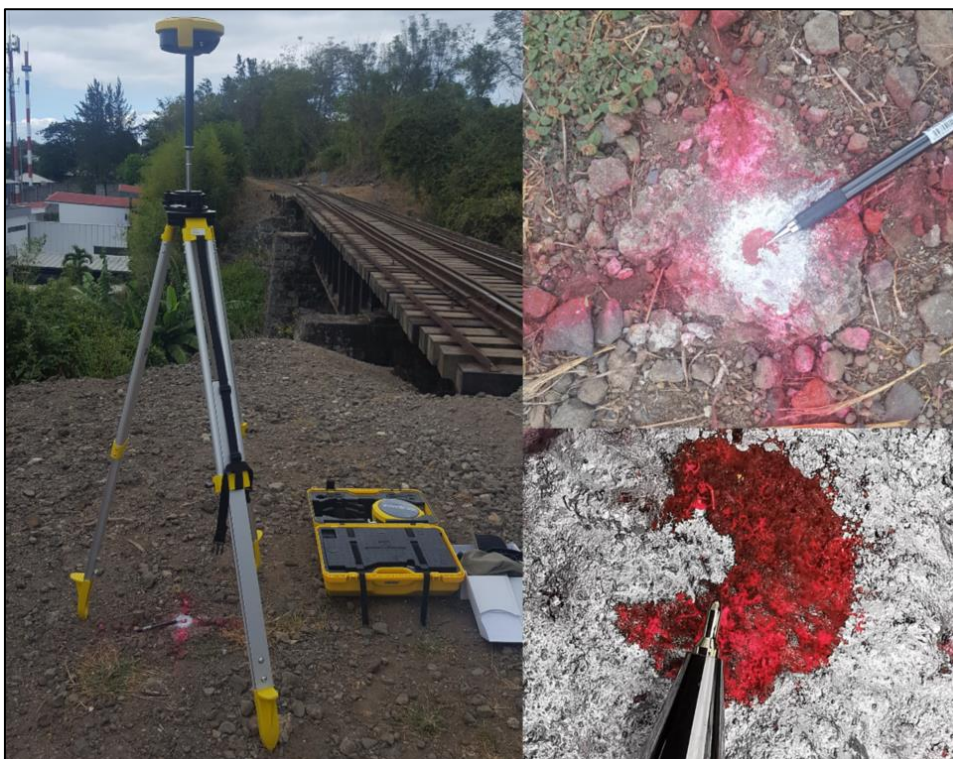
3.6.1. Proceso para la obtención del primer punto de control.

Para determinar la ubicación de los puntos de control, se debe de cumplir ciertos requisitos, el primero de ellos, implica identificar un punto dentro del área de estudio, ubicación que permita mejorar estratégicamente la posición de las imágenes generadas posteriormente mediante el vuelo fotogramétrico. Otro requisito, implica que el sitio elegido como punto de control no presente árboles o vegetación de gran altura, con el fin de mejorar la señal del GNSS, ya que esas obstrucciones podrían provocar pérdida de señal y afectar la precisión que se requiere. Preferiblemente, se debe de elegir un sitio que presente una marca o referencia que perdure el tiempo necesario para realizar el levantamiento fotogramétrico.

El primer punto de control se ubicó a un lado de la línea férrea (Figura 12), en donde se procedió a limpiar la superficie del suelo, para luego pintar una marca con spray de color gris y rojo, tratando que la marca perdure el tiempo necesario para realizar el levantamiento fotogramétrico. Seguidamente se coloca el equipo GNSS/GPS RTK GEOMAX Zenith 40 en el punto exacto de la marca, y se procede a calcular las coordenadas del punto.

Figura 12

Punto de Ubicación cercanía del tren al norte de la Urbanización Pinares.



Fuente: elaboración propia.

Seguidamente en la colectora GEOMAX se selecciona el software X-PAD (Figura 13).

Figura 13

Software de la colectora X-PAD.

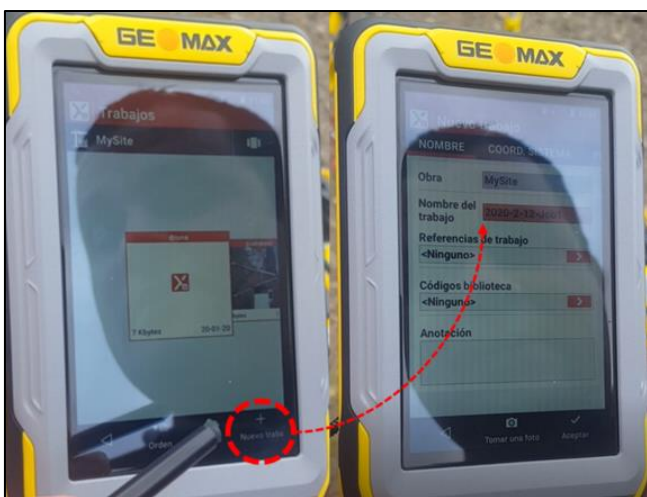


Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso, es seleccionar nuevo trabajo, en donde se define el nombre del proyecto, en este caso esta automatizado (Figura 14).

Figura 14

Definir nombre del proyecto, software de la colectora X-PAD.



Fuente: elaboración propia.

En cuanto al sistema de referencia ya está configurado en CRTM05. Paso siguiente es configurar la base para que trabaje en postproceso, en donde se agrega como variable de control es la altura de la base al suelo e indicar que tome los datos de manera cruda, y que almacene los datos en la tarjeta de memoria que está en la antena. Se selecciona configuración/ GPS y estación total/GeoMax – GNSS Zenith 40, en donde se observa la serie con la que se está generando la conexión bluetooth BT: GMZ1791850 entre la antena y la colectora (Figura 15).

Figura 15

Postproceso, software de la colectora X-PAD



Fuente: elaboración propia.

En este caso se realiza un ajuste de configuración, para ello, se da clic en modificar, en perfil se da clic en siguiente, en dispositivo se da clic en siguiente y se va a seleccionar Radio Interna en RTK- recibiendo correcciones (Figura 16).

Figura 16

Radio Interna en RTK- recibiendo correcciones, software de la colectora X-PAD



Fuente: elaboración propia.

La configuración de parámetros queda igual, y se le modifica la altura de la base al suelo, que para este caso corresponde a 1.82m, seguidamente consulta si quiere configurar el receptor a lo cual se selecciona sí (Figura 17).

Figura 17

Configuración de parámetros, software de la colectora X-PAD.

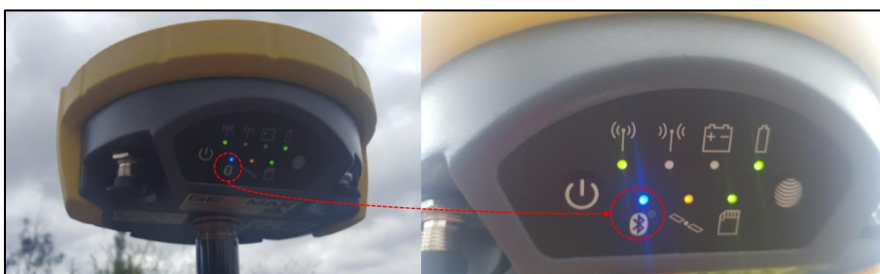


Fuente: elaboración propia.

En este momento se enciende la luz azul donde indica el enlace entre la colectora y el receptor, cuando se pone a parpadear inicia coleccionar datos (Figura 18).

Figura 18

Enlace entre la colectora y el receptor



Fuente: elaboración propia.

Seguidamente se selecciona iniciar base/posición actual, donde muestra la configuración anteriormente realizada. Además, se observa como tasa de registro 5 segundos, lo que significa que la tasa de rastreo corresponde a un registro de la información de cada 5 segundos. (Figura 19).

Figura 19

Base/posición actual, software de la colectora X-PAD



Fuente: elaboración propia.

Se agrega el nombre del archivo postproceso en este caso se llama puente. En posición base se selecciona mida aquí, para que promedie, y se obtiene una posición aproximada. Se inicia el proceso que tarda entre 15 a 20 min aproximadamente (Figura 20).

Figura 20

Nombre del archivo postproceso, software de la colectora X-PAD



Fuente: elaboración propia.

3.6.2. *Ubicación del segundo punto de control*

El segundo punto de control se ubicó en la cancha de baloncesto del Barrio de Cipreses (Figura 21), en donde se procedió a utilizar las líneas de la cancha para elegir el punto de control. Seguidamente se coloca el equipo GNSS/GPS RTK GEOMAX Zenith 40 en el punto exacto producto de la demarcación de la cancha y se procede a calcular las coordenadas del punto siguiendo el mismo procedimiento de medición generado para calcular el primer punto de control.

Figura 21

Punto de Ubicación Cancha y planche Barrio Cipreses



Fuente: elaboración propia.

3.6.3. Datos obtenidos del levantamiento de puntos de control

A partir del trabajo de campo y levantamiento de los puntos de control, se realiza el postproceso generando los siguientes datos: el día y la hora en que se realizó la medición, de tipo estático, la desviación estándar y las correspondientes coordenadas $x - y$. Esta información es fundamental para realizar el vuelo fotogramétrico, ya que, se debe de utilizar tanto la ubicación física de cada punto de control, para colocar con precisión el equipo requerido para el levantamiento

fotogramétrico, así como, calibrar el mismo con los parámetros generados y presentados en la Tabla

3.

Tabla 3

Datos obtenidos del levantamiento de puntos de control

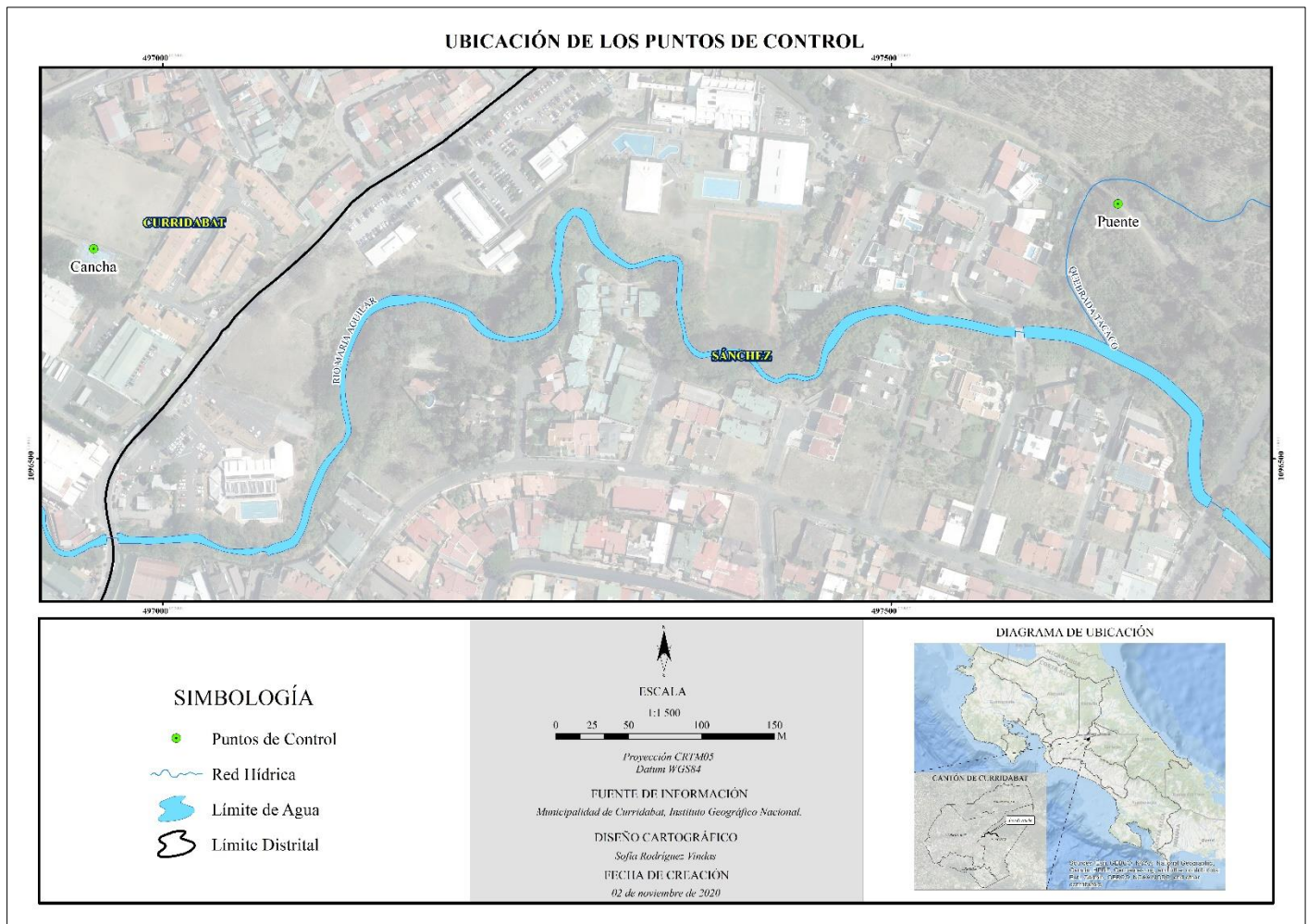
| Id del punto | PUENTE | CANCHA |
|-------------------|----------------------------------|-----------------|
| Época | 12/2/2020 | 12/2/2020 |
| Hora | 11:17:28 | 12:01:18 |
| Guardado | No | No |
| Estado ambigüedad | Sí | Sí |
| Tipo GNSS | GPS/ GLONASS | GPS/ GLONASS |
| Tipo | Estático | Estático |
| Tipo de solución | Fase: GPS fijo, GLONASS flotante | Fase: todo fijo |
| Frecuencia | L1+L2 | L1+L2 |
| X local | 497655.4753 | 496952.6174 |
| Y local | 1096674.8196 | 1096643.9079 |
| Alt Elip. | 1256.9610 | 1244.1589 |
| Q Posic. | 0.0003 | 0.0006 |
| Q Alt. | 0.0006 | 0.0012 |
| Pos. + Q Alt. | 0.0006 | 0.0013 |

Nota: Los valores de Q representa la desviación estándar de los puntos de control, fuente elaboración propia.

Con base en la información generada en el campo detallada anteriormente, se genera el Mapa 12, el cual muestra la ubicación de los puntos de control.

Mapa 12

Ubicación de los puntos de control



Fuente: elaboración propia.

3.7. Levantamiento Fotogramétrico

Para la identificación del uso no conforme en el área de protección de río, es necesario generar insumos actualizados, mediante un levantamiento fotogramétrico utilizando un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), generando modelos digitales de terreno, curvas de nivel, ortomosaico, entre otros. El programa utilizado para el procesamiento de las imágenes generadas por el VANT corresponde al programa Agisoft PhotoScan Professional.

Para continuar con el proceso de levantamiento, se realiza la segunda visita de campo, específicamente, el martes 25 de febrero de 2020, donde se procedió generar el vuelo fotogramétrico utilizando el Vehículo Aéreo No Tripulado Phantom 4 RTK y la estación D-RTK 2 Mobile Station en los 2 sitios donde se levantó los puntos de control (Figura 22).

Figura 22

Vuelo fotogramétrico

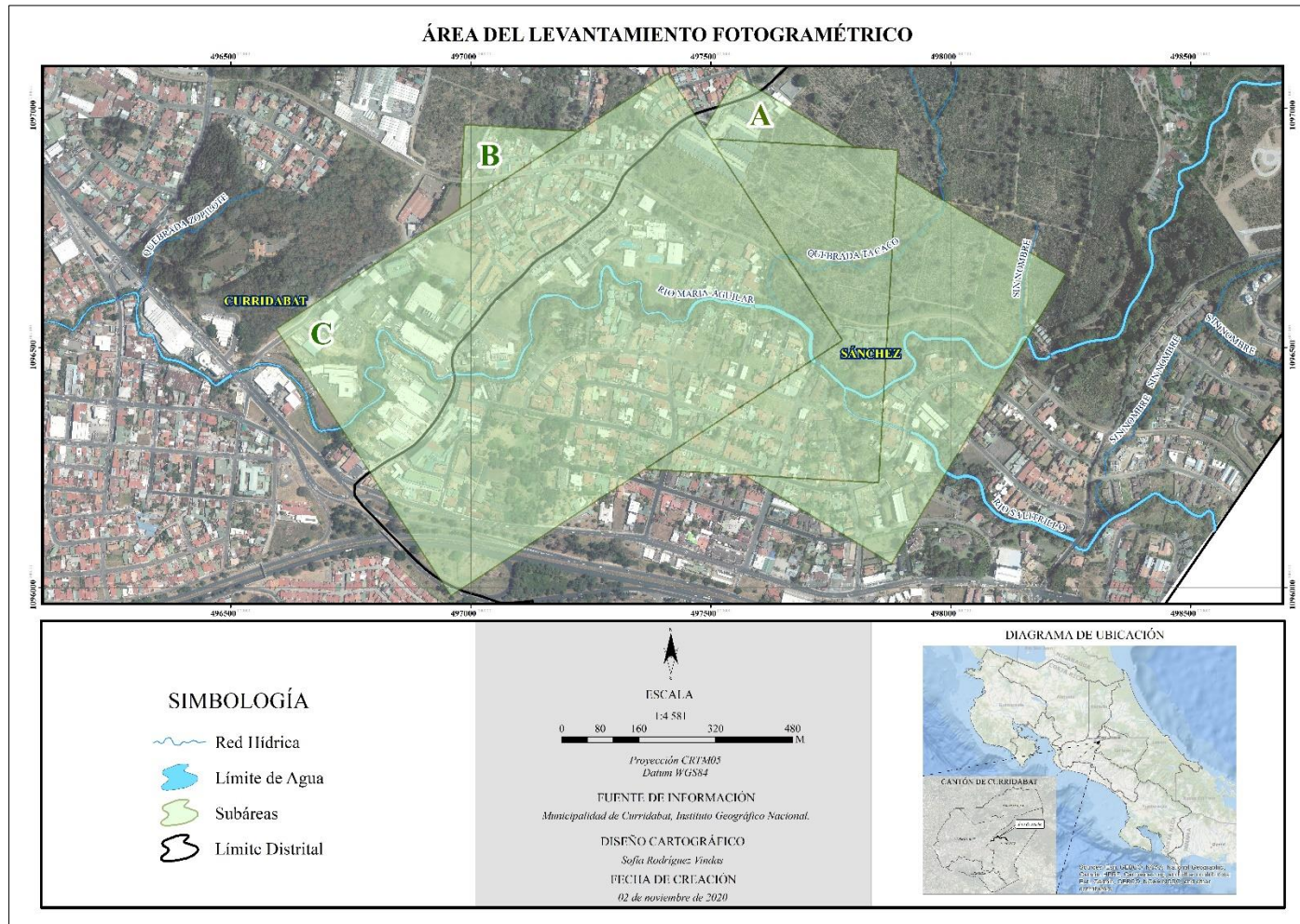


Fuente: elaboración propia.

Con el fin de generar la fotogrametría del área de estudio se procedió a fragmentar el área total del vuelo correspondiente a 1,05 km² en tres subáreas, para mejorar el tiempo de procesamiento de los datos (Mapa 13). El vuelo se realizó a una altura de 120 metros, con un traslape entre fotos de aproximadamente un 60%, utilizando los datos obtenidos de los puntos de control mencionados en el acápite 3.4.3.

Mapa 13

Área del levantamiento fotogramétrico



Fuente: elaboración propia.

3.7.1. Fotogrametría utilizando Agisoft PhotoScan Professional

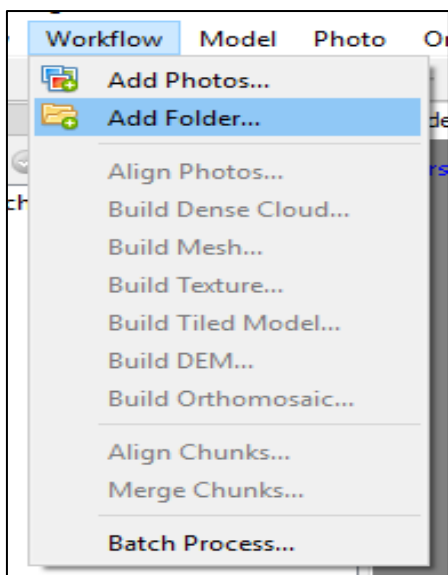
Para cada una de las subáreas generadas previamente, se deben de desarrollar los siguientes procedimientos: importación de las imágenes al proyecto, alineación de las imágenes, calibración y optimización de la cámara, construcción de la Nube Densa, construcción de la Malla Tridimensional, generación del Modelo de Elevación Digital y por último la creación del Ortomosaico.

3.7.1.1. Importación de las imágenes al proyecto.

Con el fin de importar las 368 imágenes necesarias para generar el proyecto, se debe seleccionar **Workflow/ AddFolder**, y buscar la carpeta que contiene las imágenes a utilizar (Figura 23).

Figura 23

Añadir carpeta al proyecto

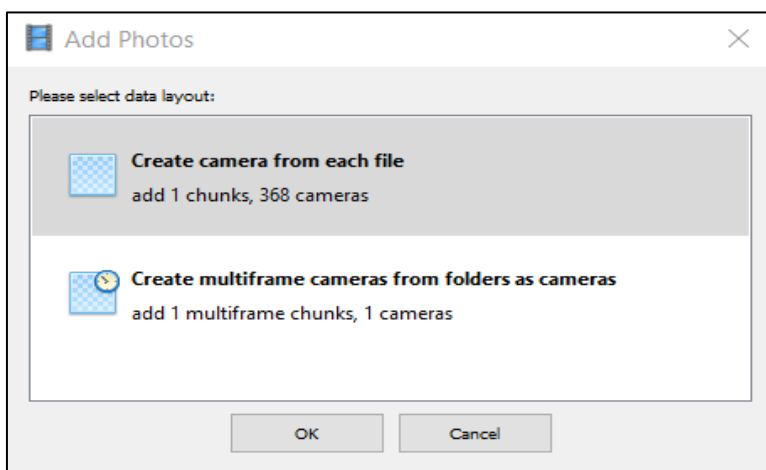


Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Seguidamente se muestra una ventana llamada **Add Photos**, en la cual se debe de seleccionar la opción **Create camera from each file (add 1 chunks, 368 cameras)** y se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Añadir las imágenes al proyecto

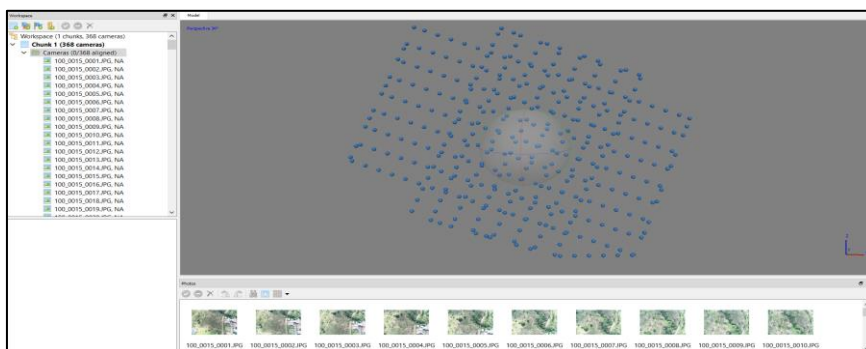


Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Es importante considerar que cada una de estas 368 fotos tiene un 80% de traslape como mínimo en cada eje (Figura 25).

Figura 25

Visor 3D



Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

En la pestaña **Reference** presenta la información de altitud, error las imágenes que integran el proyecto (Figura 26).

Figura 26

Referencia

| Cameras | Longitude | Latitude | Altitude (m) | Accuracy (m) | Error (m) |
|-------------------------------------|------------|------------|--------------|--------------|-----------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.021388 | 9.918642 | 1374.922000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.021470 | 9.918443 | 1374.929000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.021551 | 9.918245 | 1374.960000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.021631 | 9.918047 | 1374.960000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.021712 | 9.917848 | 1374.965000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.021793 | 9.917649 | 1374.999000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.021874 | 9.917450 | 1375.023000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.021955 | 9.917250 | 1375.008000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.022035 | 9.917052 | 1374.992000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.022116 | 9.916852 | 1375.002000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.022197 | 9.916654 | 1374.979000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.022277 | 9.916455 | 1374.977000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.022357 | 9.916256 | 1374.974000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.022438 | 9.916057 | 1374.984000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.022519 | 9.915860 | 1374.939000 | 10.000000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 100_001... | -84.022601 | 9.915659 | 1374.933000 | 10.000000 |
| Total Error | | | | | |

| Markers | Longitude | Latitude | Altitude (m) | Accuracy (m) | Error (m) |
|--------------------|-----------|----------|--------------|--------------|-----------|
| Total Error | | | | | |
| Control points | | | | | |
| Check points | | | | | |

| Scale Bars | Distance (m) | Accuracy (m) | Error (m) |
|--------------------|--------------|--------------|-----------|
| Total Error | | | |
| Control scale ... | | | |
| Check scale b... | | | |

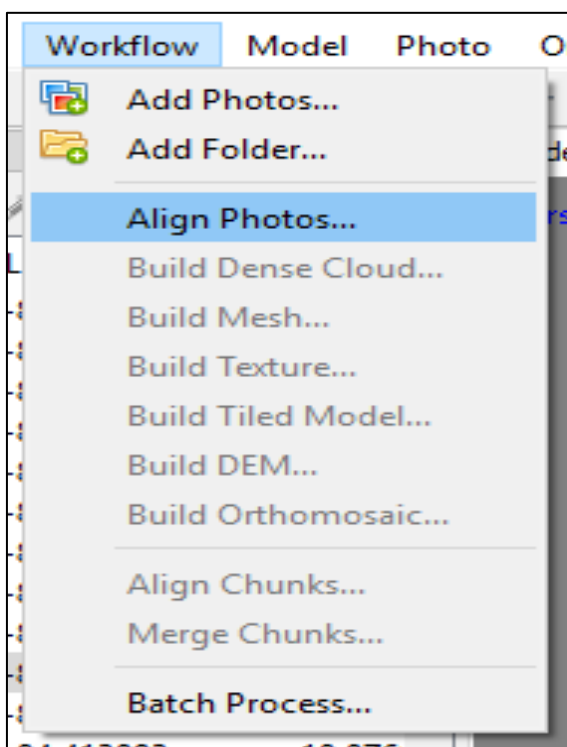
Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

3.7.1.2. Alineación de las imágenes.

En este proceso, el programa utiliza el metadato de cada imagen, con el fin de estimar la posición y las rotaciones de la cámara, generando una nube dispersa. Para generar el proceso de alineación de las imágenes, se debe de seleccionar **Workflow/ Align Photos** (Figura 27).

Figura 27

Alineación de las imágenes



Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Al seleccionar dicha opción se despliega una ventana **Align Photos**, la cual presenta dos divisiones la **General** y **Advanced**, según el Manual del usuario de Agisoft PhotoScan: Edición

profesional, versión 1.1 y las memorias del curso de fotogrametría

Parámetros General:

Accuracy: mejora la alineación, al usar las imágenes sin compresión (*high*) o con niveles de compresión variables (Figura 28). Se relaciona directamente con la cantidad de puntos de amarre a obtener de un par de imágenes colindantes.

- Cuando se selecciona **High** las imágenes tienen un respectivo tamaño, para este caso presenta 8 megapíxeles, por lo que el programa no aplica ninguna compresión con esta clasificación, permitiendo integrar las imágenes como son.
- Si se selecciona **Medium** se va a recortar a la mitad de la resolución, es decir va a comprimir a 4 megapíxeles, por lo que, va a duplicar el tamaño del pixel.
- Si se selecciona **Low** va a utilizar 2 megapíxeles.
- Si se selecciona **Lowest** va a comprimir las imágenes a 1 megapíxel.
- Si se selecciona **Highest**, se realiza la descompresión de la imagen para duplica la precisión, con esta opción se divide un píxel en 4 y lo interpola.

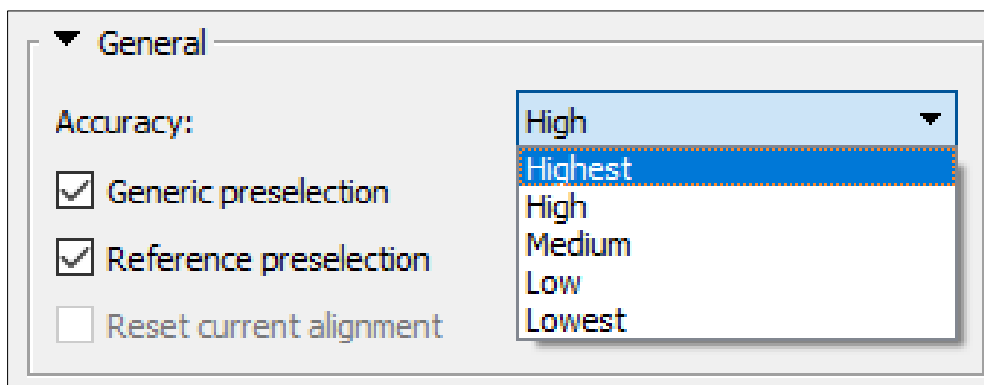
Para este caso específico, se utiliza **High**.

Preselección genérica (Generic preselection): A partir de las imágenes a utilizar, el programa establece donde buscar los puntos de amarre, definiendo zonas.

Preselección Referenciada (Reference preselection): Esta opción asegura el proceso de búsqueda de puntos de amarre, usando solo el traslape de cada par de imágenes, y para ello utiliza las coordenadas del GPS de cada imagen. El programa toma cada par de imágenes y establece la zona de traslape del 80%, solo busca puntos de amarre entre dos pares de imágenes colindantes dentro de la zona de traslape, ignorando las áreas que no están sobrepuestas.

Figura 28

Parámetros General/Accuracy, Generic preselection, Reference preselection.



Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Parámetros **Advanced**:

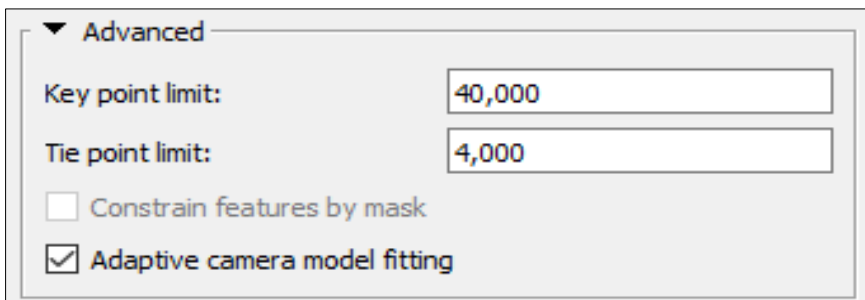
Key point limit: limita la cantidad de puntos en cada imagen para realizar el amarre, por defecto indica 40.000, lo que quiere decir que el software va a buscar dentro del mosaico de imágenes 40.000 posibles puntos de amarre, dicho proceso lo realiza bastante rápido (Figura 29).

Tie point limit: limitar la cantidad de puntos de amarre generados de manera exitosa, es decir, que, de los 40.000 candidatos para puntos de amarre, tome los mejores 4000 puntos de amarre que encontró. Por lo que, el programa, va a generar todo un procedimiento, encontrando errores de ubicación, precisión, Omega Phi Kappa, que ayuden a seleccionar los mejores 4000 puntos de amarre. Ambas opciones están muy ligadas. La búsqueda de este 10% que representa los mejores 4000 puntos de amarre, muestran el menor error para realizar la orientación interna y externa.

Modelo Adaptativo de Cámara (Adaptive camera model fitting): permite incluir los parámetros de la cámara dentro del proceso de alineado, con el fin de que el programa lea los parámetros de Omega Phi Kappa, posiciones, etc.

Figura 29

Parámetros *Advanced* / *Key point limit*, *Tie point limit*, *Adaptive camera model fitting*.

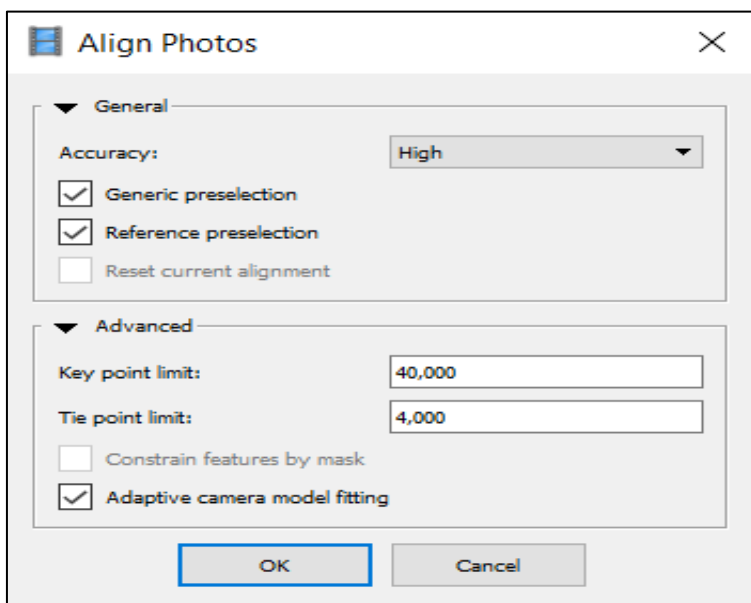


Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Por último, se debe de asegurar marcar de manera correcta las opciones, como se muestra en el Figura 30 y dar click en OK.

Figura 30

Alineación de las imágenes

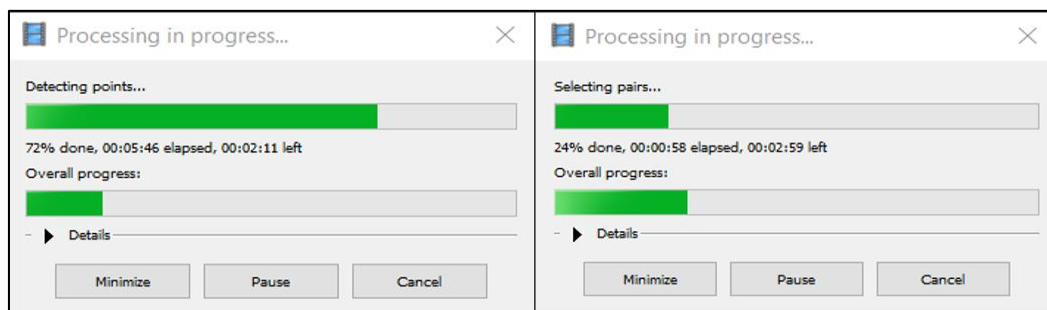


Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Este proceso tarda unos minutos para completarse la alineación de las imágenes (Figura 31).

Figura 31

Selección de pares



Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

En la consola se puede observar cuantos puntos de amarre encontró en cada imagen, donde el programa encuentra patrones que puede ser reproducido y ubicados en otra foto. De las 368 imágenes encontró 5432 pares (Figura 32).

Figura 32

Proceso de Selección de pares

```

2020-03-11 12:15:05 [CPU] photo 365: 40000 points
2020-03-11 12:15:06 [CPU] photo 366: 40000 points
2020-03-11 12:15:07 [CPU] photo 367: 40000 points
2020-03-11 12:15:07 points detected in 478.403 sec
2020-03-11 12:15:07 Selecting pairs...
2020-03-11 12:18:27 854984 matches found in 199.605 sec
2020-03-11 12:18:27 matches combined in 0.181 sec
2020-03-11 12:18:28 matches filtered in 0.734 sec
2020-03-11 12:18:28 5432 pairs selected in 0.001 sec
2020-03-11 12:18:28 Matching points...
2020-03-11 12:46:27 4356538 matches found in 1679.55 sec
2020-03-11 12:46:28 matches combined in 0.768 sec
2020-03-11 12:46:34 matches filtered in 6.227 sec
2020-03-11 12:46:35 finished matching in 2365.63 sec

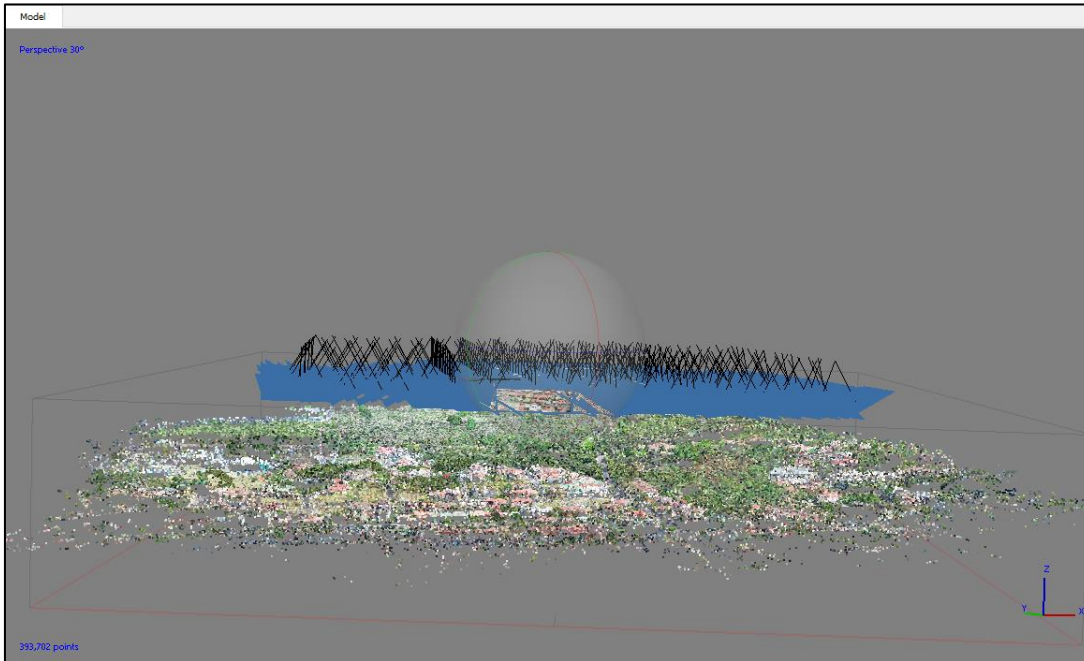
```

Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Dicho proceso genera la siguiente visualización de la selección de puntos de amarre (Figura 33).

Figura 33

Selección de puntos de amarre

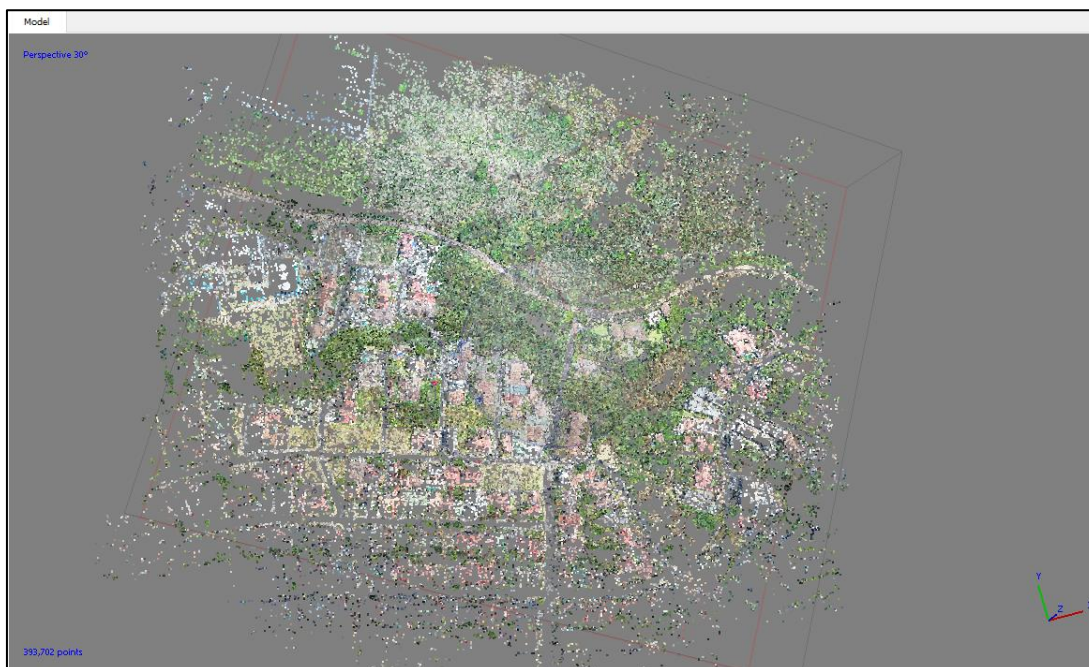


Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Con base en el anterior proceso, se generó una nube de puntos dispersa y una alineación interna - externa de manera automática, en 368 imágenes, 40.000 posibles puntos de amarre (Figura 34).

Figura 34

Modelo Nube de puntos dispersa

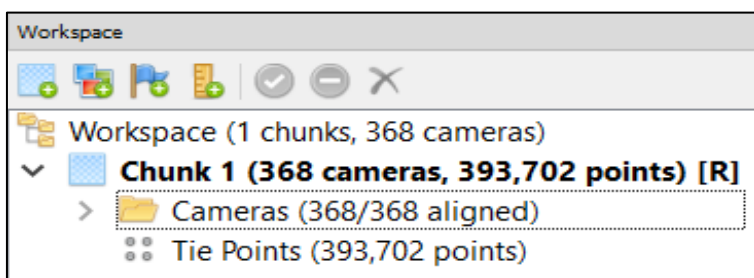


Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Detectando 393.702 candidatos de puntos de amarre, escogiendo los mejores 4000 puntos de amarre definitivos para realizar la orientación. En la consola Workspace se puede observar los Tie Points que aparecen activos (Figura 35).

Figura 35

Puntos de Control



Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Al seleccionar Reference se puede observar una serie de parámetros, uno de ellos corresponde al error, para este caso se observan errores grandes, resultado del mejor modelo que se logró obtener a partir de la información que se le suministro. Existen imágenes con errores hasta de 0.098023 metros, al final el error total promedio de las imágenes es de 0.079083, este sería el error promedio del modelo.

Existen áreas que presentan mayor error, sobre todo las imágenes periféricas que no traslapan ubicadas hacia la periferia del modelo, en comparación con las imágenes internas (Figura 36).

Figura 36

Error promedio del modelo.

| Cameras | Longitudo | Latitude | Altitude (m) | Accuracy (m) | Error (m) |
|------------------------------------------------|------------|----------|--------------|--------------|-----------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021388 | 9.918642 | 1374.922000 | 10.000000 | 0.102112 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021470 | 9.918443 | 1374.929000 | 10.000000 | 0.098023 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021551 | 9.918245 | 1374.960000 | 10.000000 | 0.093853 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021631 | 9.918047 | 1374.960000 | 10.000000 | 0.092746 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021712 | 9.917848 | 1374.965000 | 10.000000 | 0.095694 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021793 | 9.917649 | 1374.999000 | 10.000000 | 0.093046 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021874 | 9.917450 | 1375.023000 | 10.000000 | 0.093035 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021955 | 9.917250 | 1375.008000 | 10.000000 | 0.082607 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022035 | 9.917052 | 1374.992000 | 10.000000 | 0.079993 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022116 | 9.916852 | 1375.002000 | 10.000000 | 0.082508 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022197 | 9.916654 | 1374.979000 | 10.000000 | 0.072629 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022277 | 9.916455 | 1374.977000 | 10.000000 | 0.070296 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022357 | 9.916256 | 1374.974000 | 10.000000 | 0.078121 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022438 | 9.916057 | 1374.984000 | 10.000000 | 0.078276 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022519 | 9.915860 | 1374.939000 | 10.000000 | 0.079403 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022601 | 9.915659 | 1374.933000 | 10.000000 | 0.092486 |
| Total Error | | | | | 0.079083 |

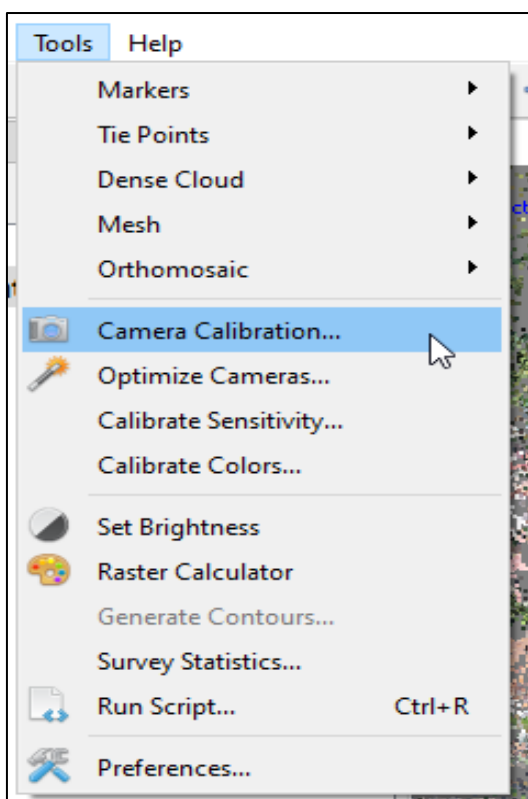
Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

3.7.1.3. Calibración y optimización de la cámara.

Para este proceso se debe de selecciona Tools/ Camera Calibration, en el cual se observa los ajustes de la cámara (Figura 37).

Figura 37

Calibración de la cámara

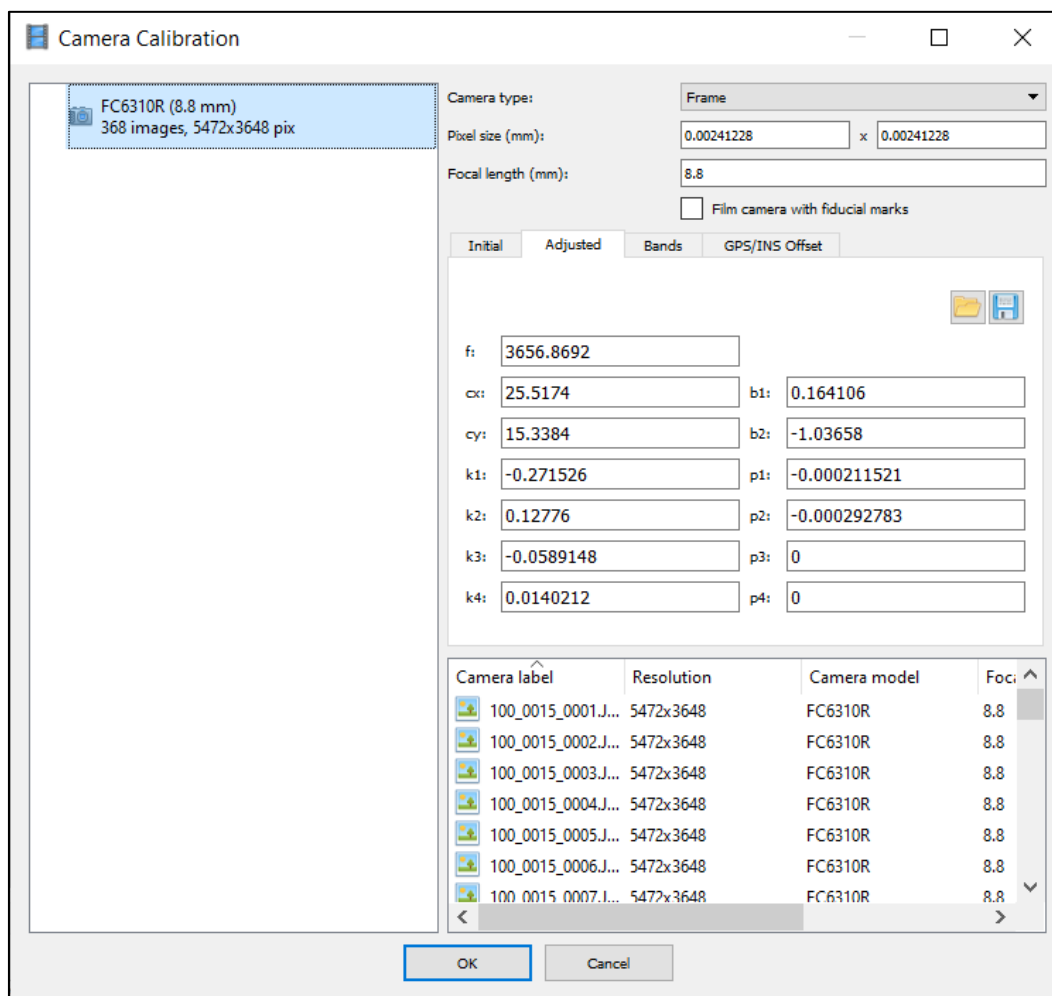


Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

En la Figura 38 muestra los ajustes para la calibración de la cámara.

Figura 38

Ajustes calibración de la cámara



Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Creada la nube dispersa, el programa permite una optimización mediante una corrección no lineal del mosaico de imágenes, ajustando las coordenadas estimadas con respecto a los parámetros de la cámara. Lo anterior permite reducir el error de alineación intrínseco en la toma de las imágenes (3 traslaciones, 3 rotaciones, factor de escala).


El botón de optimizar es el siguiente  presente en la pestaña **Reference**, permitiendo optimizar con base en el header de la cámara Phantom 4 RTK, la distancia focal, el Omega Phi Kappa, D-RTK 2 Mobile Station; reduciendo un poco el error del modelo (Figura 39).

Figura 39

Phantom 4 RTK, D-RTK 2 Mobile Station

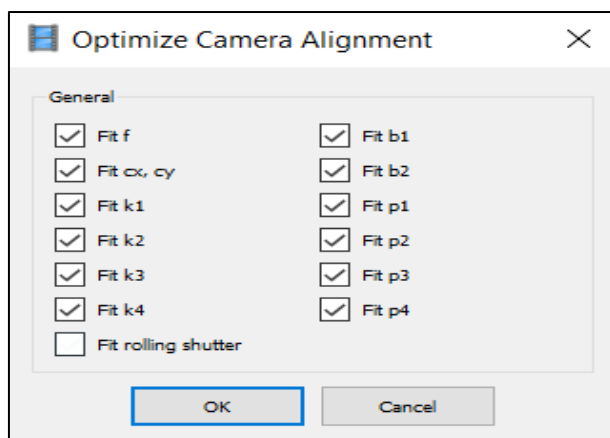


Fuente: elaboración propia.

Para este caso se seleccionan todos los parámetros de la cámara, a excepción de la opción Fit rolling shutter. El programa va a utilizar los parámetros de la cámara para optimizar Omega Phi Kappa, desplazamiento en x y y, distancia focal (Figura 40).

Figura 40

Optimización



Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Al realizar dicho procedimiento el error no se disminuyó mucho, el error cambio de 0.079083 m a 0.043885 m, pero de igual forma este error obtenido es bastante bueno y adecuado para los fines de la investigación (Figura 41).

Figura 41

Error obtenido del proceso de optimización

| Cameras | Longitude | Latitude | Altitude (m) | Accuracy (m) | Error (m) |
|------------------------------------------------|------------|----------|--------------|--------------|-----------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021388 | 9.918642 | 1374.922000 | 10.000000 | 0.064181 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021470 | 9.918443 | 1374.929000 | 10.000000 | 0.060852 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021551 | 9.918245 | 1374.960000 | 10.000000 | 0.056224 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021631 | 9.918047 | 1374.960000 | 10.000000 | 0.055316 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021712 | 9.917848 | 1374.965000 | 10.000000 | 0.056143 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021793 | 9.917649 | 1374.999000 | 10.000000 | 0.052929 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021874 | 9.917450 | 1375.023000 | 10.000000 | 0.054840 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.021955 | 9.917250 | 1375.008000 | 10.000000 | 0.045162 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022035 | 9.917052 | 1374.992000 | 10.000000 | 0.043249 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022116 | 9.916852 | 1375.002000 | 10.000000 | 0.046922 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022197 | 9.916654 | 1374.979000 | 10.000000 | 0.038461 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022277 | 9.916455 | 1374.977000 | 10.000000 | 0.034653 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022357 | 9.916256 | 1374.974000 | 10.000000 | 0.042024 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022438 | 9.916057 | 1374.984000 | 10.000000 | 0.041013 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022519 | 9.915860 | 1374.939000 | 10.000000 | 0.042116 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 100_001... | -84.022601 | 9.915659 | 1374.933000 | 10.000000 | 0.057694 |
| Total Error | | | | | 0.043885 |

Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

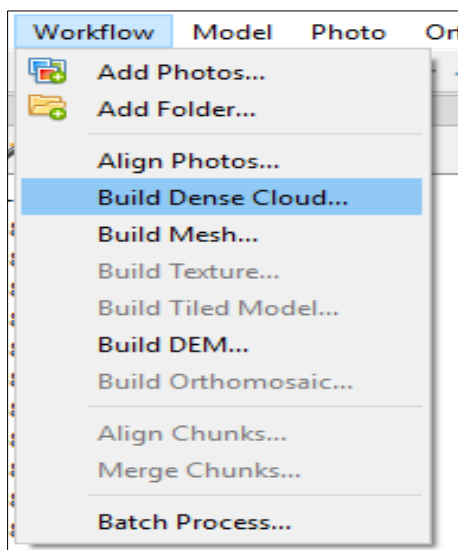
La optimización puede reducir el error de alineación en la toma de imágenes, rotaciones y control de escala, si la cámara estaba torcida lo que hace es no utilizar la imagen. En este anterior paso construimos un modelo geométrico preliminar, usamos parámetros internos de la cámara en función de las imágenes para crear una orientación externa. Si se tiene un error aceptable continuo con los siguientes pasos.

3.7.1.4. Construcción de la Nube Densa.

La nube densa nos permite crear la grilla 3D, Modelo de Elevación y el ortomosaico. Se podría generar directamente Modelo de Elevación a partir de la información de las imágenes generando un modelo con un error bastante alto, por lo que la manera correcta es generar una nube densa de puntos para generar DEM y no generarlo a partir de una nube dispersa. Para generar dicho proceso se debe de seleccionar la opción **Workflow/Build Dense Cloud** (Figura 42).

Figura 42

Construcción de la nube de puntos



Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Al seleccionar dicha opción se despliega una ventana **Build Dense Cloud**, la cual presenta dos divisiones la **General** y **Advanced** (Figura 43), según el Manual del usuario de Agisoft PhotoScan: Edición profesional, versión 1.1 y las memorias del curso de fotogrametría.

Parámetros **General**:

Quality: le indica al programa la resolución a usar de las imágenes, siendo UltraHigh la resolución de la imagen original, y los demás reduciendo la resolución en un factor de 2.

- **UltraHigh:** Resolución de la imagen original. Toma las imágenes tal y como son, no las comprime.
- **High:** imagen en la resolución natural. Divide a 4 megapíxeles.
- **Medium:** 2 megapíxeles
- **Low:** 1 megapíxeles
- **Lowesth:** pésima resolución

- **Highest:** Cuando se quiere interpolar

Para este proceso se selecciona **médium** aceptando una imagen de 2 megapíxeles para generar la nube densa.

Parámetros **Advanced**:

Filtrados (Deep Filtering): ayuda a reducir los puntos extremos (outliers) que se generan al crear el modelo. Se refiere a que programa va encontrar puntos que van a representar valores atípicos, el filtrado se encarga de reducir los outliers a la hora de crear el modelo. La luz del sol genera puntos artificiales que se van a depurar en el filtrado. Entre más agresivo el proceso va a durar más tiempo, esto porque va a considerar todos los puntos y los va a interpolar entre ellos.

- Maes(suave)
- Moderado
- Agresivo

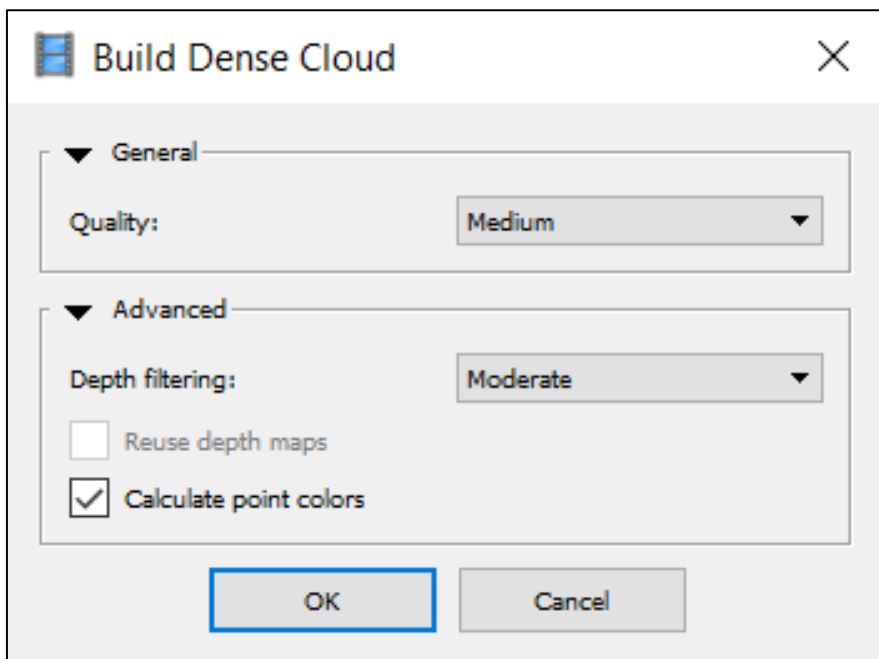
Para este caso se debe de seleccionar **Moderado**.

Cálculo de puntos de colores (Calculate points colors): asigna colores a los puntos, según su posición dentro del mosaico.

Después de marcar las opciones anteriormente mencionadas, se debe seleccionar **OK**.

Figura 43

Proceso de construcción de la nube densa puntos



Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.


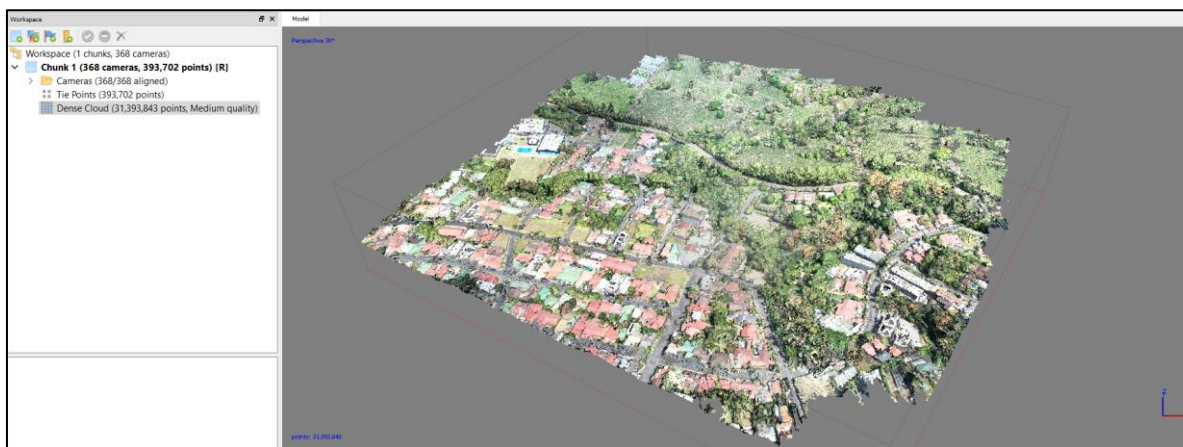
Después de generar el proceso se logra observar en la Figura 44 la nube densa de puntos, seleccionando la opción **Dense Cloud** .

Figura 44

Nube densa de Puntos



Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

A partir de la fotogrametría pura se generó una nube de puntos con color, presentando una cantidad de 31.393.843 puntos. Al mantener presionada la tecla control y el scroll se puede modificar la deformación, corrección por distancia. Se recomienda utilizar la perspectiva en 15 grados. En este modelo generado de la nube densa de puntos, se presentan áreas en gris o huecos presentes debajo de los árboles, por lo que se debe de complementar dicho modelo con Fotogrametría Oblicua (Figura 45).

Figura 45

Huecos Modelo Nube Densa de Puntos



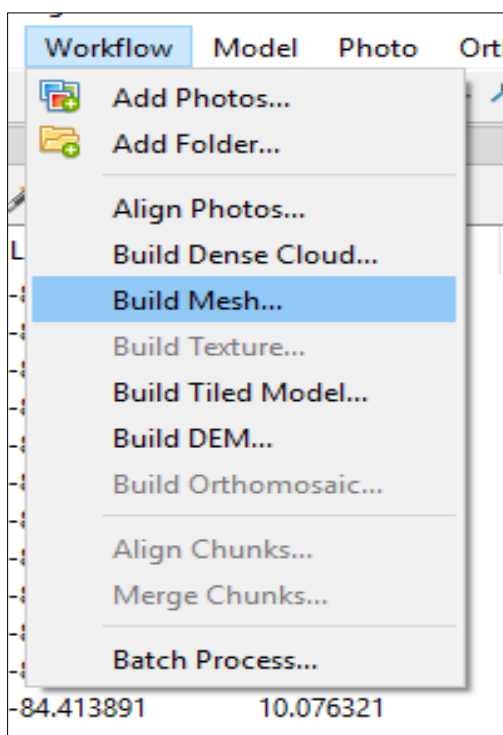
Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

3.7.1.5. Construcción de la Malla Tridimensional.

Con base en el Manual del usuario de Agisoft PhotoScan: Edición profesional, versión 1.1 y las memorias del curso de fotogrametría, este proceso permite generar una malla tridimensional, con la cual es posible “llenar” aquellos vacíos creados por los procesos anteriores, mediante interpolación (Figura 46). Permite además visualizar de manera preliminar la calidad del MED. Para generar dicho proceso se debe de seleccionar la opción **Workflow/Build Mesh.**

Figura 46

Build Mesh



Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Al seleccionar dicha opción se despliega una ventana **Build Dense Cloud**, la cual presenta dos divisiones la **General** y **Advanced**.

Parámetros **General**:

Surface Type: selecciona el tipo de malla a construir, siendo Arbitrary usada para elementos cerrados (con caras, como edificios, estatuas), y Height field para superficies planares, como terrenos.

Source Data: selecciona el modelo base, de donde va obtener la información para crear el Mesh, se va a utilizar la nube densa.

Face Count: la cantidad de polígonos a generar. Es importante considerar cuantas caras se desea crear mediante la malla tridimensional, aplicando la metodología del TIN, mediante los puntos de altura presentes en la nube de puntos tridimensional, este proceso radica en generar triángulos con los tres puntos más cercanos y cada triángulo tiene una inclinación, representando la pendiente. Esta opción tiene impacto directo en la calidad del modelo, así como, en el tiempo de procesamiento, a mayor cantidad de caras mayor tiempo de procesamiento y mejor resolución. Por ende, a menor cantidad de caras menor tiempo de procesamiento, queda más suavizado, menor resolución. Para este caso se utiliza **High**, esto por las características de la computadora.

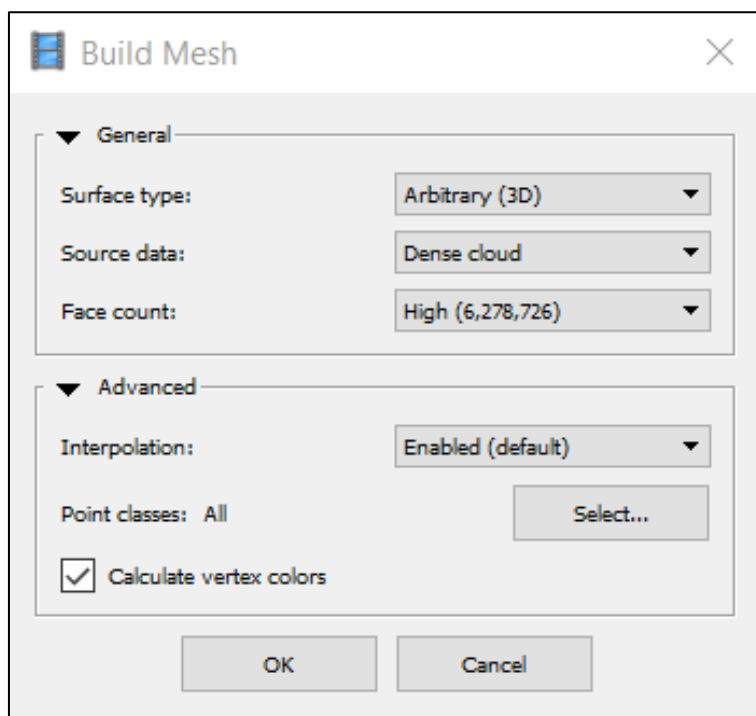
Parámetros Advanced:

Interpolation: permite llenar los vacíos creados en la nube densa, puede hacerlo interpolado normal, básicamente lo que hace es interpolado spline o bien puede extrapolar sobre todo en la orillas o extremos de los modelos donde quedan vacíos. Para este proceso se debe de activar la opción de interpolación.

Además, existe la opción **point classes**, lo que permite que interpole ciertas clases, según una previa selección de clases, se podría interpolar solo la zona boscosa y que no interpole la totalidad del modelo ganando tiempo de procesamiento. Para este proceso no se realizó la clasificación.

Por último, si se quiere dar color a cada una de las caras se debe de activar **Calculate vertex colors**.

Después de marcar las opciones anteriormente mencionadas, las cuales se representan en el Figura 47, se debe seleccionar **OK**.

Figura 47*Configuración Build Mesh*

Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.


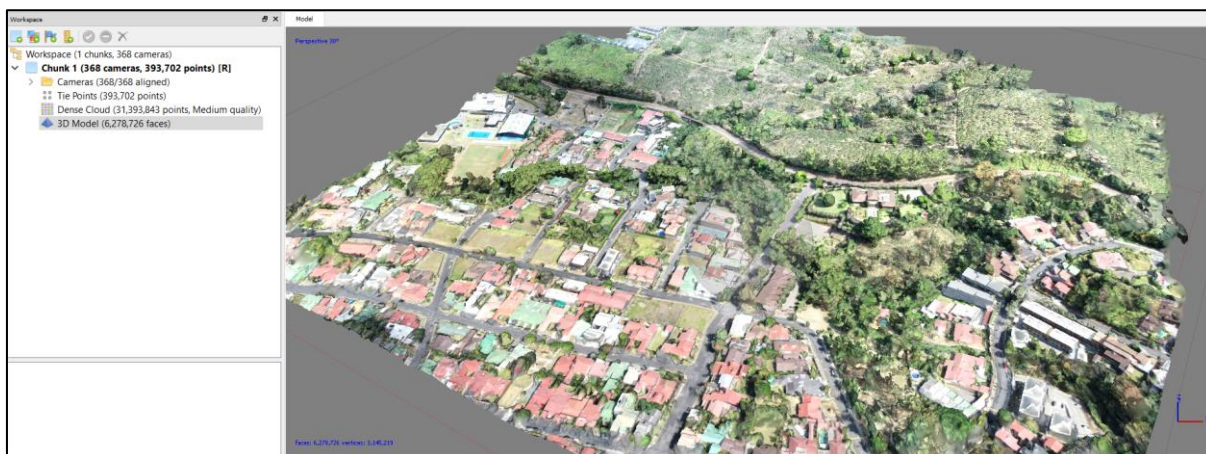
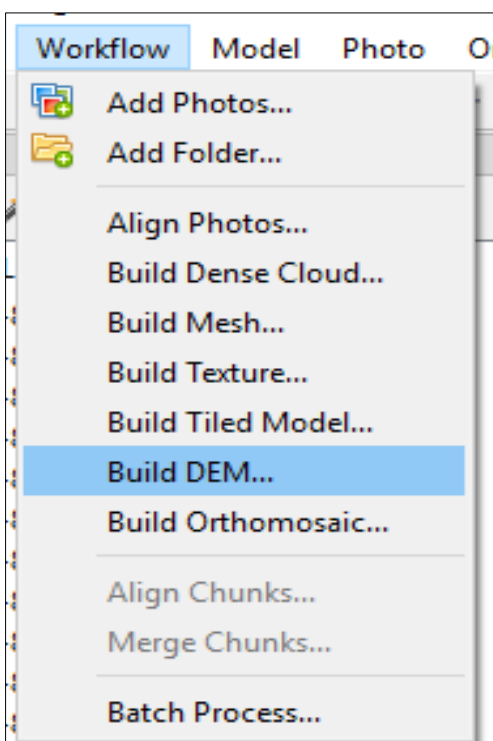
Cuando el proceso finaliza se activa los triángulos , en donde al seleccionarlos se observa el modelo de grilla 3D con un conteo de caras medias, observando como rellenó los vacíos, mediante superficies verticales. Esta malla tridimensional le da una idea de la calidad Modelo de Elevación Digital que se va a obtener con estos mismos parámetros. Para este proceso se obtiene un total de 6.278.726 triángulos o caras, para un total de 3.145.219 vértices (Figura 48).

Figura 48*Build Mesh*

Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

3.7.1.6. Generación del Modelo de Elevación Digital.

Con base en el Manual del usuario de Agisoft PhotoScan: Edición profesional, versión 1.1 y las memorias del curso de fotogrametría, se debe de seleccionar la opción Workflow/ Build DEM, con el fin de generar el Modelo de Elevación Digital (Figura 49).

Figura 49*Build DEM*

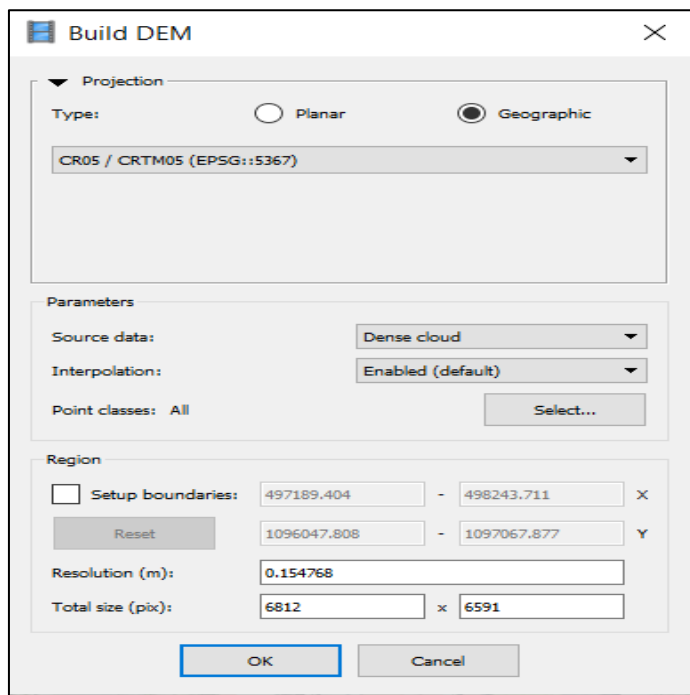
Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Projection: Al seleccionar la herramienta **Build DEM** se despliega una ventana en la cual se debe de seleccionar la proyección, por lo que, se selecciona CRTM05

Source Data: selecciona el modelo base. Si se selecciona la opción de generar el DEM a partir de la nube densa ella realizaría de nuevo el procedimiento de interpolar los 6.278.726 triángulos o caras que había encontrado anteriormente.

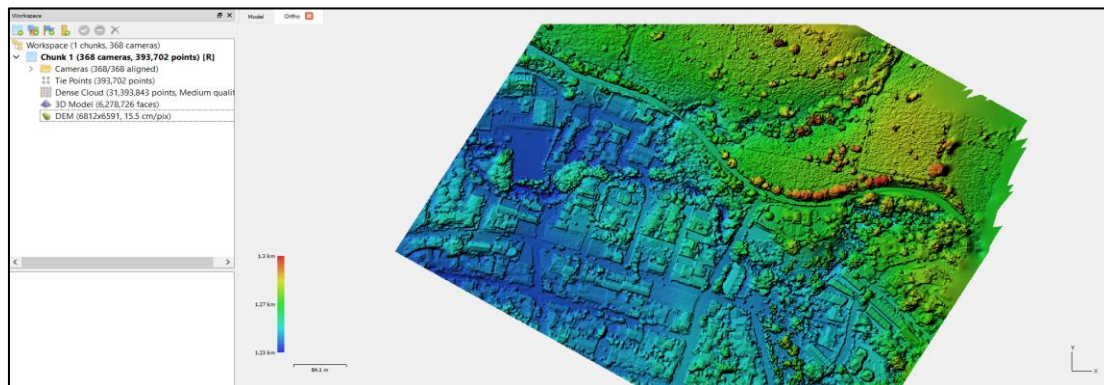
Interpolation: permite llenar los vacíos creados en la nube densa

Resolution: resolución del modelo, en unidades modelo. La creación del Modelo de Elevación Digital es necesario para el ortomosaico (Figura 50).

Figura 50*Configuración Build DEM*

Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Generando el Modelo de Elevación Digital, el cual se muestra en la Figura 51.

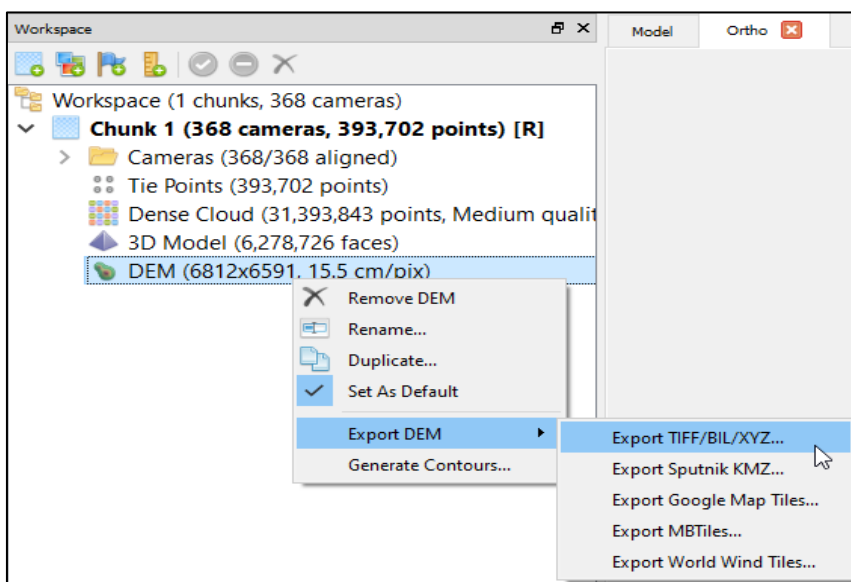
Figura 51*Modelo de Elevación Digital*

Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Este Modelo de Elevación Digital se puede exportar en varios formatos: TIFF/BIL/XYZ, KMZ, Google Map Tiles, MBTiles, World Wind Tiles (Figura 52).

Figura 52

Exportar DEM



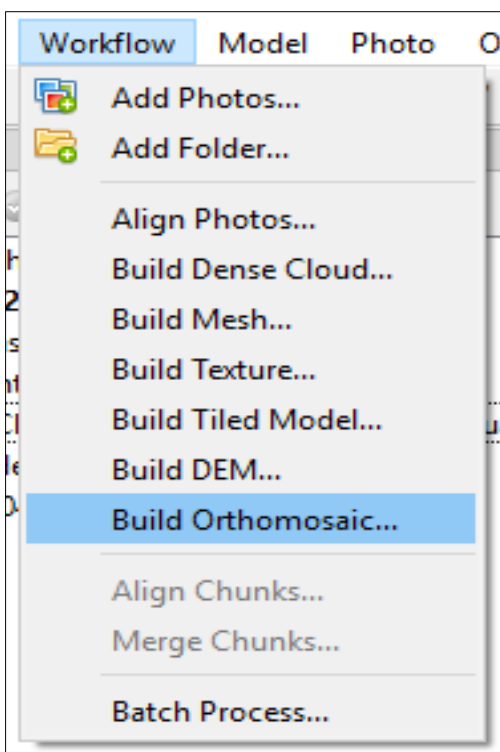
Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

3.7.1.7. Creación del Ortomosaico.

Se debe de seleccionar la opción Workflow/ Build Orthomosaic, con el fin de generar el Ortomosaico (Figura 53).

Figura 53

Build Orthomosaic



Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Al seleccionar la herramienta **Build Orthomosaic** se despliega una ventana (Figura 54), en la cual se debe de seleccionar los siguientes parámetros:

Proyección: CRTM05

Surface: Modelo de Elevación Digital(DEM)

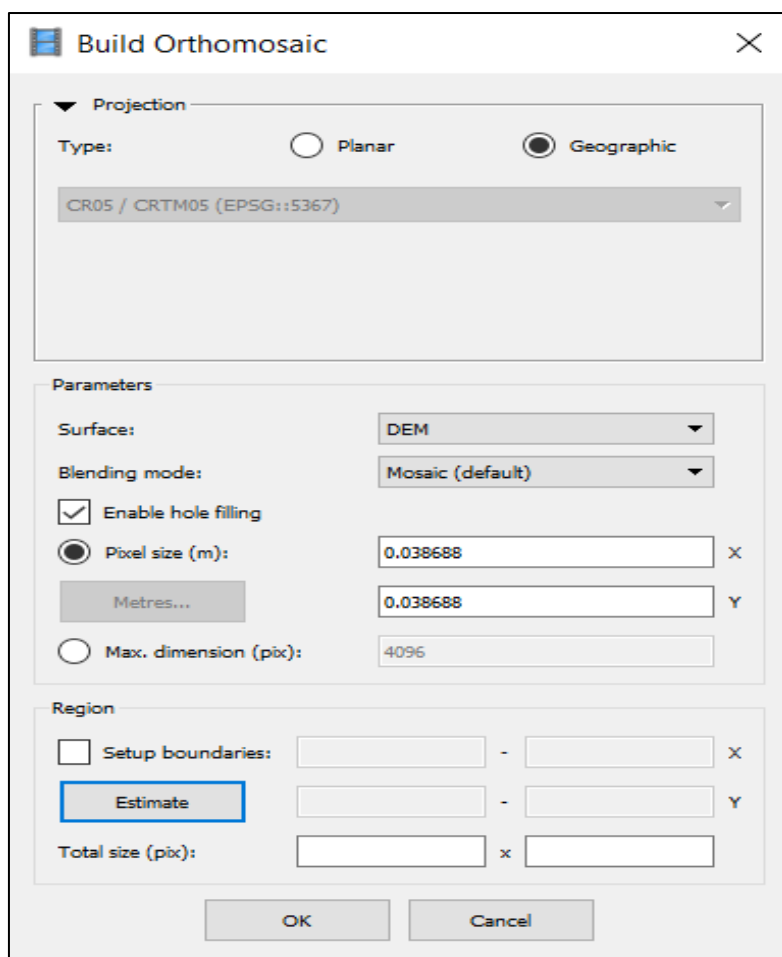
Blending Mode: Está relacionado con el traslape y la forma de unir las fotos en el mosaico, en

este caso se selecciona **Mosaic (default)**.

En cuanto al valor del píxel, se deja el valor determinado que surge a partir de todos los procesos realizados anteriormente. Se debe de dar clic en OK.

Figura 54

Configuración Build Orthomosaic



Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

Por último, se observa el resultado del Ortomosaico, el cual es un producto innovador para el análisis de distintas problemáticas, permitiendo realizar diferentes mediciones como superficies, distancias y volúmenes (Figura 55).

Figura 55*Orthomosaic*

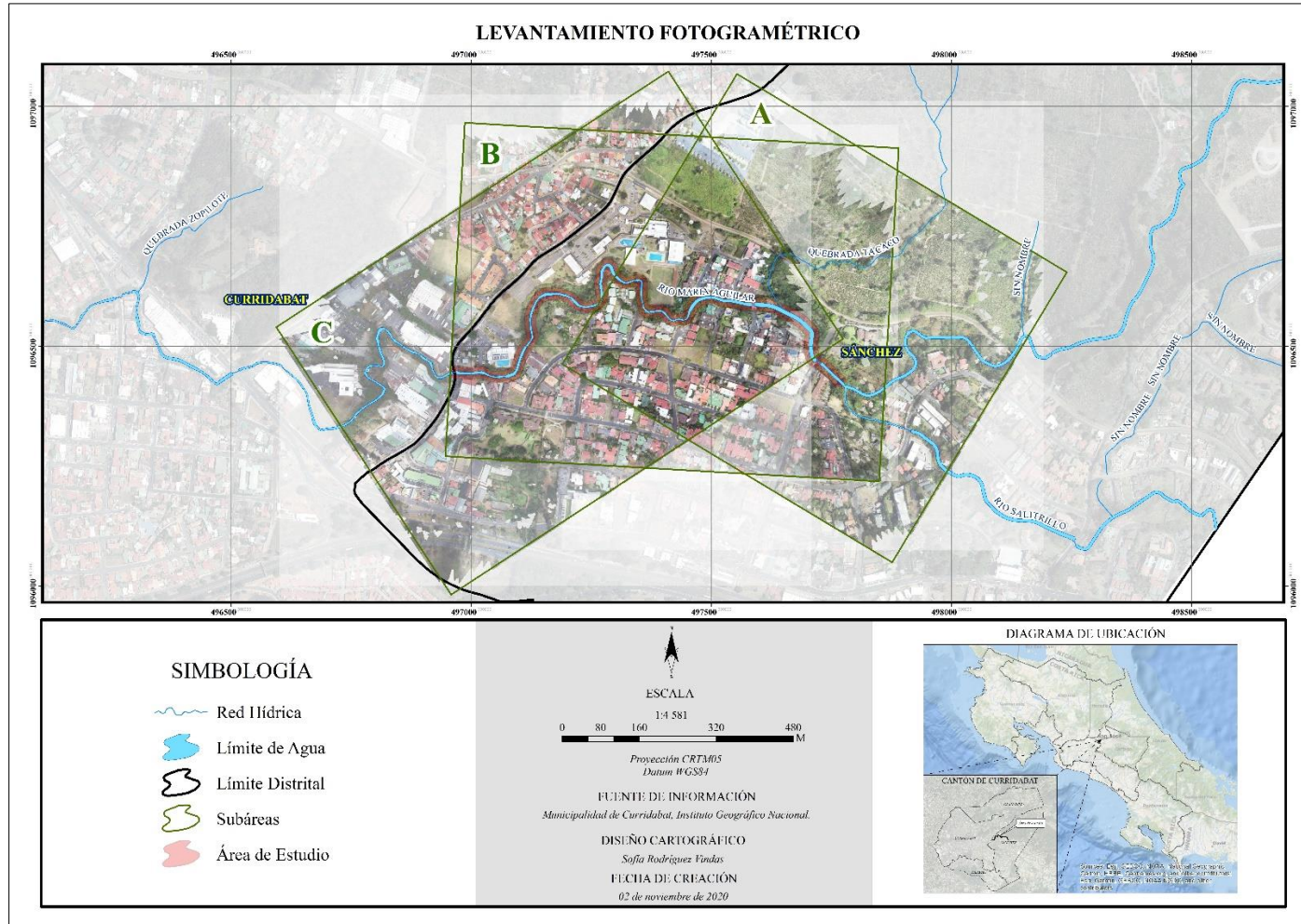
Fuente: captura de pantalla de software Agisoft PhotoScan Professional Versión 1.4.0.

3.7.2. *Error Promedio del Modelo Fotogramétrico*

Con base en los insumos fotogramétricos generados mediante el VANT Phantom 4 RTK, D-RTK 2 Mobile Station y el programa **Agisoft PhotoScan Professional**, para cada una de las tres subáreas que componen el área de estudio, las cuales se logran observar en el Mapa 14.

Mapa 14

Producto del levantamiento fotogramétrico



Fuente: elaboración propia.

Seguidamente se presenta la Tabla 4, la cual contiene el error promedio del modelo, tanto para el proceso de Alineación, así como en el proceso de Optimización, en este último el error total promedio se disminuye. Este error promedio obtenido para cada subárea en el proceso de Optimización representa un error bastante bajo, permitiendo cumplir con los objetivos de la investigación.

Tabla 4

Error promedio del modelo en el proceso de Optimización

| Subárea | Error Total Promedio | |
|---------|------------------------|--------------------------|
| | Proceso Alineación (m) | Proceso Optimización (m) |
| A | 0,079083 | 0,043885 |
| B | 0,098717 | 0,05069 |
| C | 0,130879 | 0,078461 |

Fuente: elaboración propia.

El error promedio del modelo en el proceso de Optimización para cada una de las subáreas fluctúa entre 0.043885 metros a 0.078461 metros.

3.8. **Análisis de la información recolectada**

A partir de la delimitación del área de protección de río y de los escenarios registrales presentes en el área de estudio, se sobreponen para calcular el porcentaje del área de protección que presenta información registral y catastral, y cuanto de ella no presenta información registral y catastral. Otra información que se extrae de esta comparación corresponde a determinar qué porcentaje de fincas contiene el área de protección de río, al igual cuantas de ellas están a nombre terceros, a nombre público o que no presenta información registral catastral.

Al incorporar los insumos generados por el vuelo fotogramétrico (ortomosaico, curvas de nivel) y al compararlos con la delimitación del área de protección, escenarios registrales, mapa catastral, se calcula e identifica cuanto porcentaje del área de protección presenta un uso no conforme y cuanto de este uso no conforme se clasifica como invasión al área de protección.

Por último, se realizó la visita a campo, con el fin de verificación y obtener un registro de las posibles áreas de invasión, en donde, se logre realizar algunas mediciones necesarias, así como, generar un registro fotográfico del frete de las propiedades para reforzar los fundamentos de la investigación.

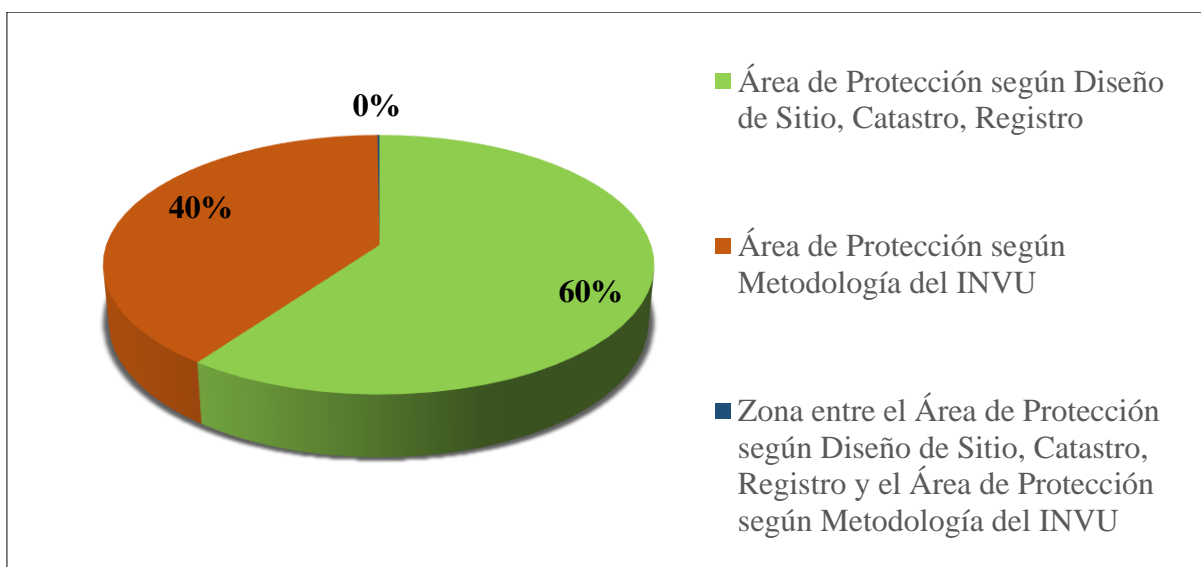
CAPITULO 4: RESULTADOS

4.1. Delimitación del área de protección del río

A partir de la delimitación del área de protección del Río María Aguilar, y con base en el Gráfico 2 se logra determinar que el 60% del área de protección, se conformó con base en información registral, catastral o de diseño de sitio, mientras que un 40% se delimito utilizando la metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU. Este dato es importante para inventariar y defender las áreas de protección de río, ya que, más de la mitad del área de protección de río considerada en esta investigación, presenta información registral, catastral o de diseño de sitio, generando una base jurídica y registral para velar por su protección.

Gráfico 2

Delimitación del área de protección de río.



Fuente: elaboración propia.

Con respecto al 60% del área de protección que se conformó con base en información registral, catastral o de diseño de sitio presentan un área de 23439,64 m², mientras que el restante 40% se delimito utilizando la metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU, presentando 15622,01m² (Tabla 5).

Tabla 5

Delimitación del área de protección de río.

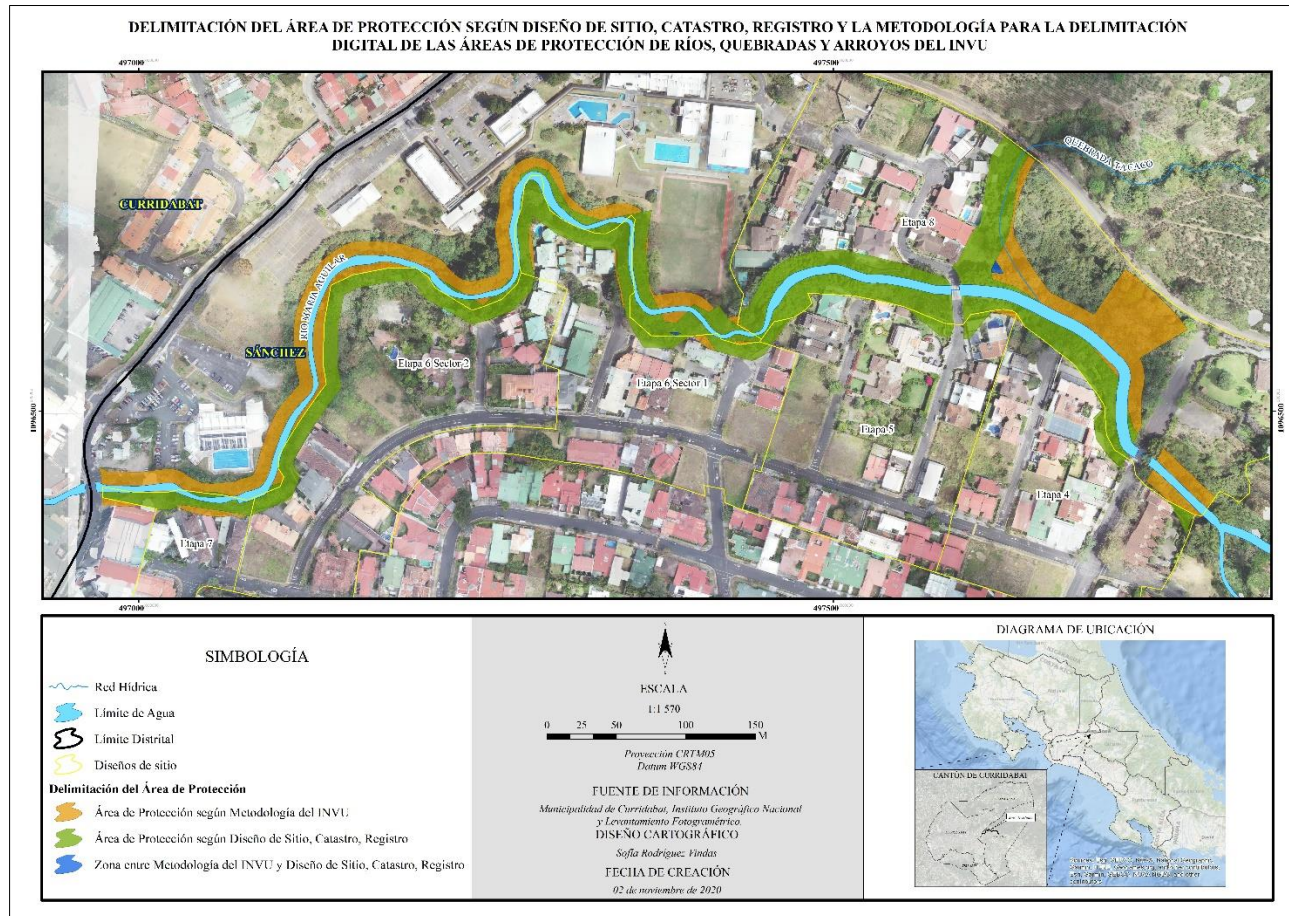
| Área de Protección de Río | Área (m²) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Área de Protección según Diseño de Sitio, Catastro, Registro | 23439,64 |
| Área de Protección según Metodología del INVU | 15622,01 |
| Zona entre el Área de Protección según Diseño de Sitio, Catastro, Registro y el Área de Protección según Metodología del INVU | 51,84 |
| Total | 39113,49 |

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se muestra el Mapa 15 con la delimitación del Área de Protección según Diseño de Sitio, Catastro, Registro y metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU para la zona de estudio.

Mapa 15

Delimitación del Área de Protección según Diseño de Sitio, Catastro, Registro y metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU

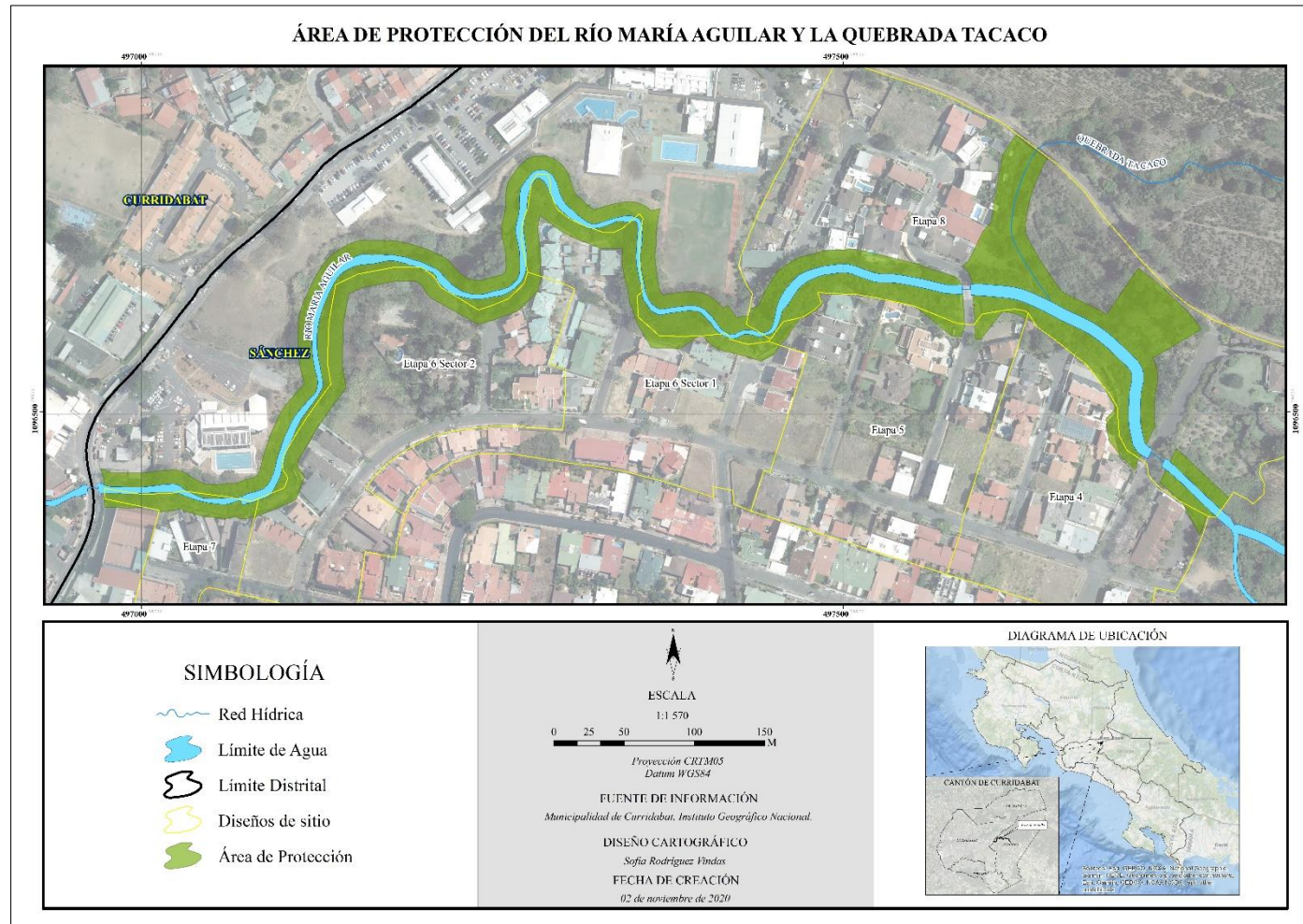


Fuente: elaboración propia.

La superficie total del área de protección para el sitio de estudio corresponde a 39113,49 m², los cuales, se representa en el mapa 16 su distribución y ubicación.

Mapa 16

Área de protección de río.



Fuente: elaboración propia.

4.2. Escenarios catastrales y registrales

El mapa catastral generado está conformado por 62 polígonos, de los cuales 56 de ellos presentan información registral asociada, equivalente a 141077 m² y en 6 polígonos no se logró asociar información registral ni catastral representando 9117m² (Tabla 6).

Tabla 6

Mapa Catastral.

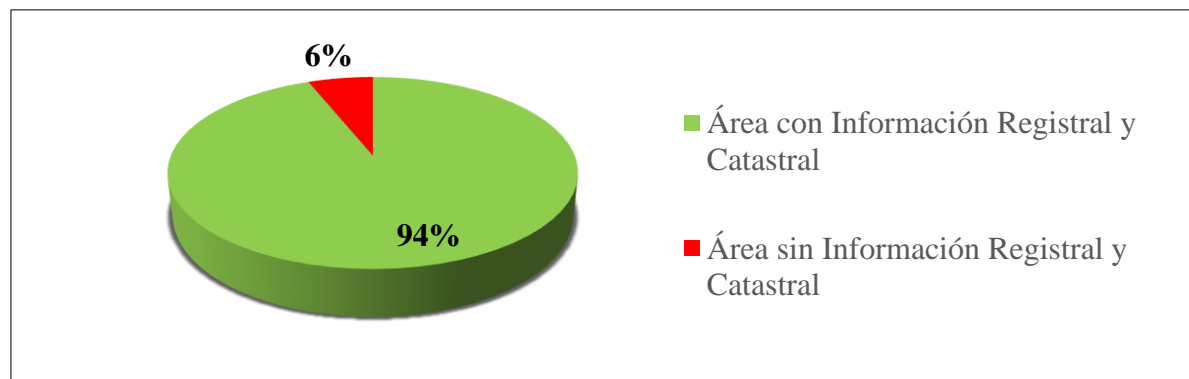
| Mapa Catastral | Área (m ²) |
|--------------------------------------------|------------------------|
| Área con Información Registral y Catastral | 141077 |
| Área sin Información Registral y Catastral | 9117 |
| Total | 150194 |

Fuente: elaboración propia.

Por lo que, el mapa catastral resultante está conformado en un 94% por fincas que se lograron relacionar y ubicar; y con respecto al restante 6% no se logró asociar información registral ni catastral (Gráfico 3). Dichas áreas con o sin información registral y catastral se logran observar en el Mapa 17.

Gráfico 3

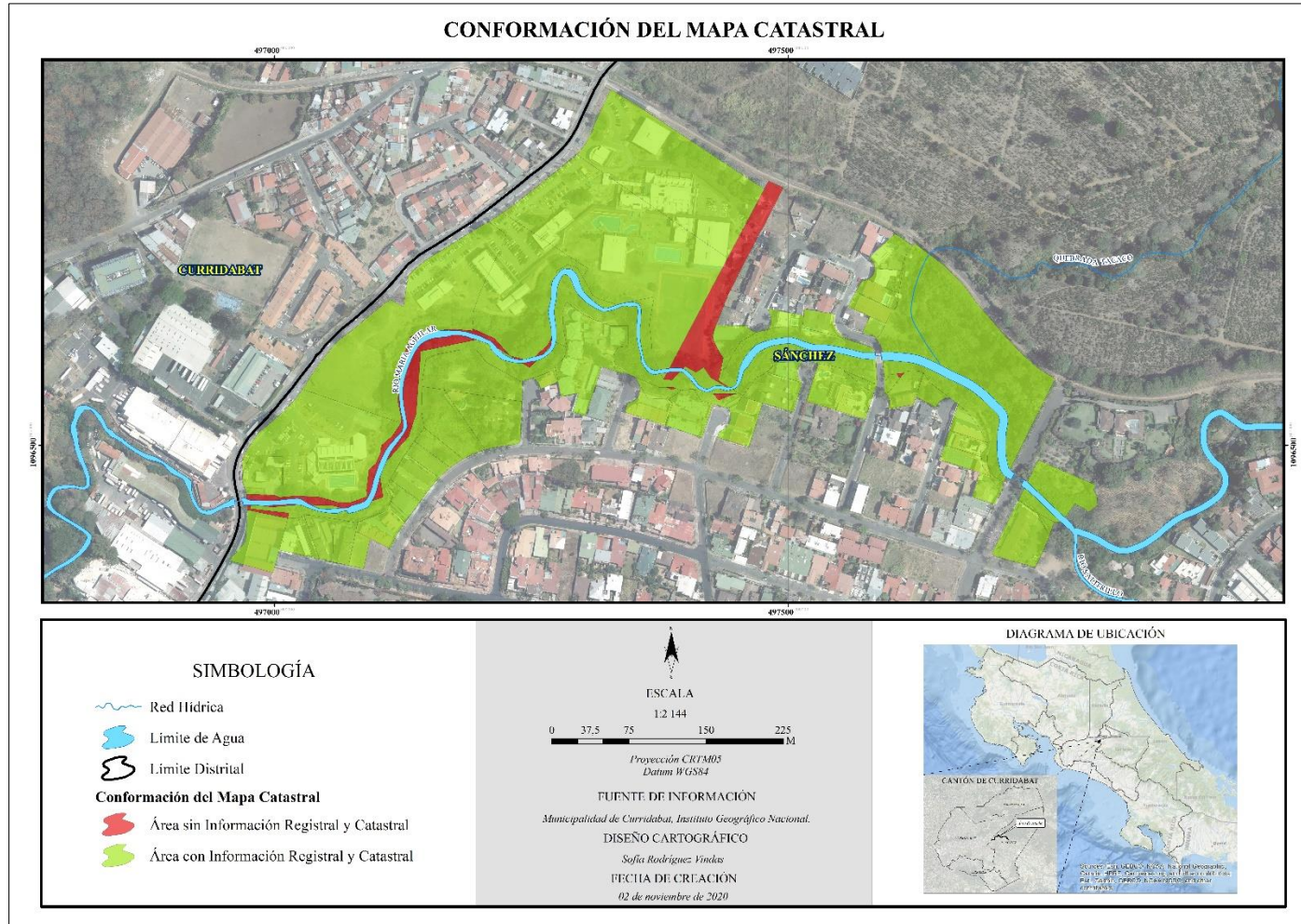
Conformación del Mapa Catastral



Fuente: elaboración propia.

Mapa 17

Mapa Catastral

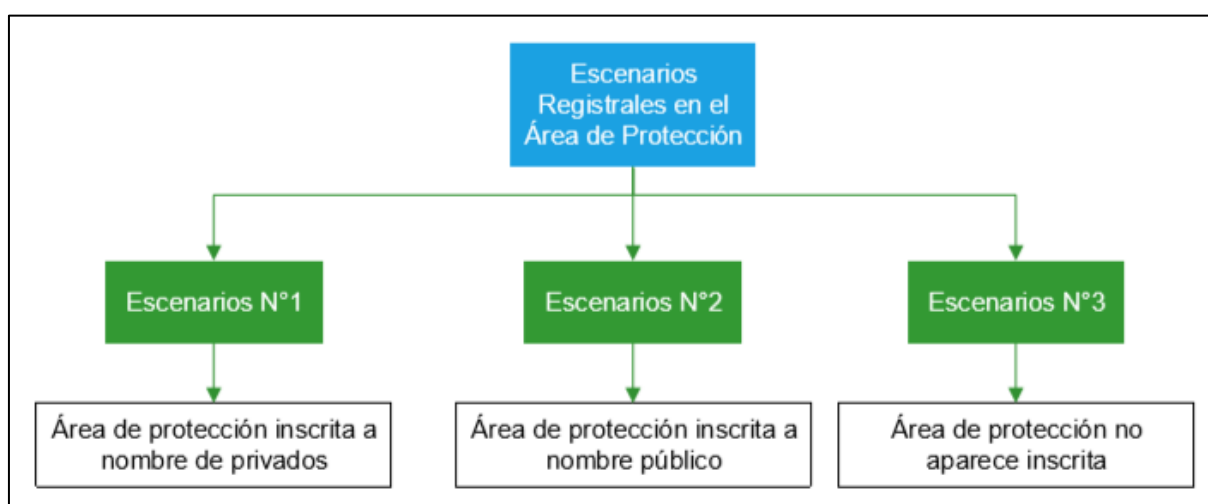


Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se procede a la conformación de los escenarios presentes en el área de estudio, para ello, se debe de sobreponer el área de protección de río y el mapa catastral anteriormente generado, al observar dichas capas se logran establecer tres tipos de escenarios relacionados directamente al área de protección del río, representados en la Figura 56.

Figura 56

Escenarios registrales del área de protección de río, fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Utilizando el mapa catastral previamente conformado, se identifican los polígonos o predios que están ubicados dentro y a ambos lados del Río María Aguilar, resultando en la selección de 59 polígonos, en los cuales se analiza la ubicación y distribución del área de protección del Río María Aguilar. Generando cuatro escenarios, el primero de ellos implica que el área de protección no presenta información registral ni catastral, otro escenario lo conforma las fincas que contienen el área de protección y cuyo propietario es la Municipalidad de Curridabat. Otro escenario lo conforma las fincas que contienen el área de protección y las mismas están a nombre de terceros, y por ultimo las fincas que no contienen el área de protección del Río María Aguilar, este último

no se contempla en el cuadro 9, ya que, este escenario se presenta fuera del área de protección del río.

Una manera de representar estos escenarios corresponde a la cantidad de polígonos o predios del mapa catastral que contiene cada uno de ellos, en donde se logra resaltar que el escenario con mayor cantidad de polígonos le pertenece al área de protección que está inscrita a nombre de privados (Tabla 7).

Tabla 7

Escenarios según cantidad de polígonos.

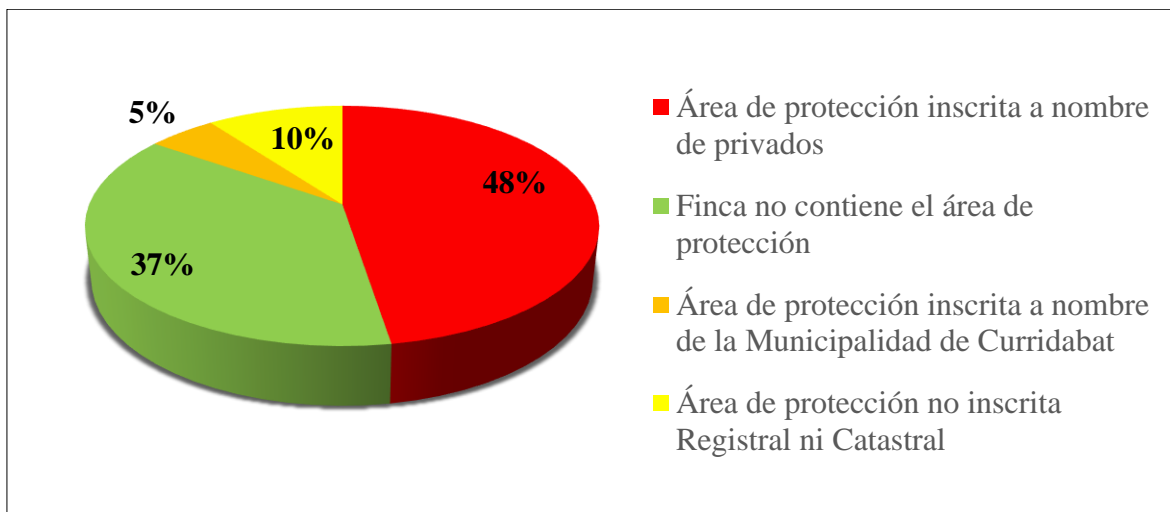
| Escenarios vs cantidad de polígonos del Mapa Catastral | Cantidad |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Área de protección inscrita a nombre de privados | 28 |
| Finca no contiene el área de protección | 22 |
| Área de protección inscrita a nombre de la Municipalidad de Curridabat | 3 |
| Área de protección no inscrita Registral ni Catastral | 6 |
| Total | 59 |

Fuente: elaboración propia.

A partir de la conformación del mapa catastral y el área de protección del río María Aguiar, y con base en el Gráfico 4, se logra identificar que el 48% de los polígonos que conforman el mapa catastral están inscritos a nombre de privados, un 37% no contiene el área de protección del río, un 10% no tiene información registral ni catastral asociada y 5% les corresponde a los polígonos que están a nombre de la Municipalidad de Curridabat.

Gráfico 4

Escenarios según cantidad de polígonos del Mapa Catastral.

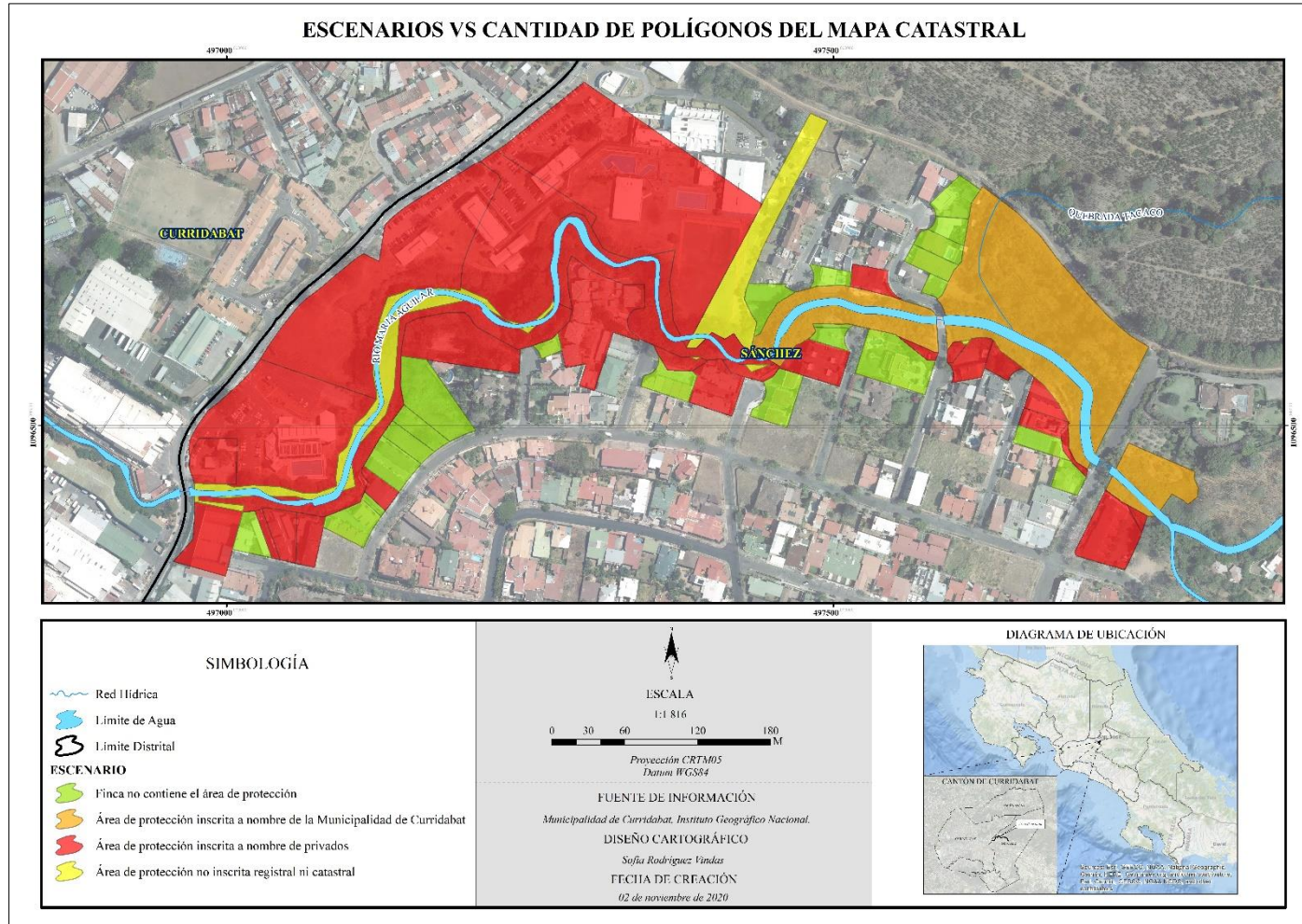


Fuente: elaboración propia.

Dichos escenarios, con su correspondiente cantidad de polígonos. se muestra en el Mapa 18.

Mapa 18

Escenarios según cantidad de polígonos.



Fuente: elaboración propia.

Así mismo, estos escenarios registrales previamente identificados se pueden analizar tomando en cuenta el área en metros cuadrados de cada uno de ellos, en donde, de igual forma, la mayor área les corresponde a las fincas que están inscritas a nombre de privados con área de 82943 m² (Tabla 8).

Tabla 8

Escenarios según mapa catastral.

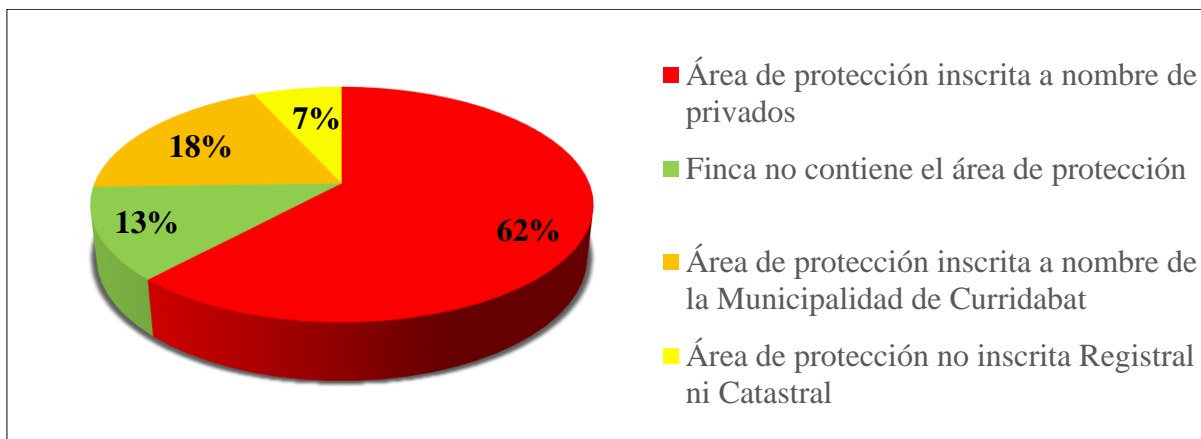
| Escenarios vs Mapa Catastral según Área | Área (m²) |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Área de protección inscrita a nombre de privados | 82943,00 |
| Finca no contiene el área de protección | 16954,46 |
| Área de protección inscrita a nombre de la Municipalidad de Curridabat | 24980,88 |
| Área de protección no inscrita Registral ni Catastral | 9116,72 |
| Total | 133995,06 |

Fuente: elaboración propia.

Con base en cada uno de los escenarios registrales y catastrales, y con base en el Gráfico 5, se logra identificar que el 62% del área que conforma el mapa catastral está inscrito a nombre de privados, un 18% del área está a nombre de la Municipalidad de Curridabat, 13% no contiene el área de protección del río y un 7% no tiene información registral ni catastral asociada.

Gráfico 5

Escenarios vs Mapa Catastral según Área

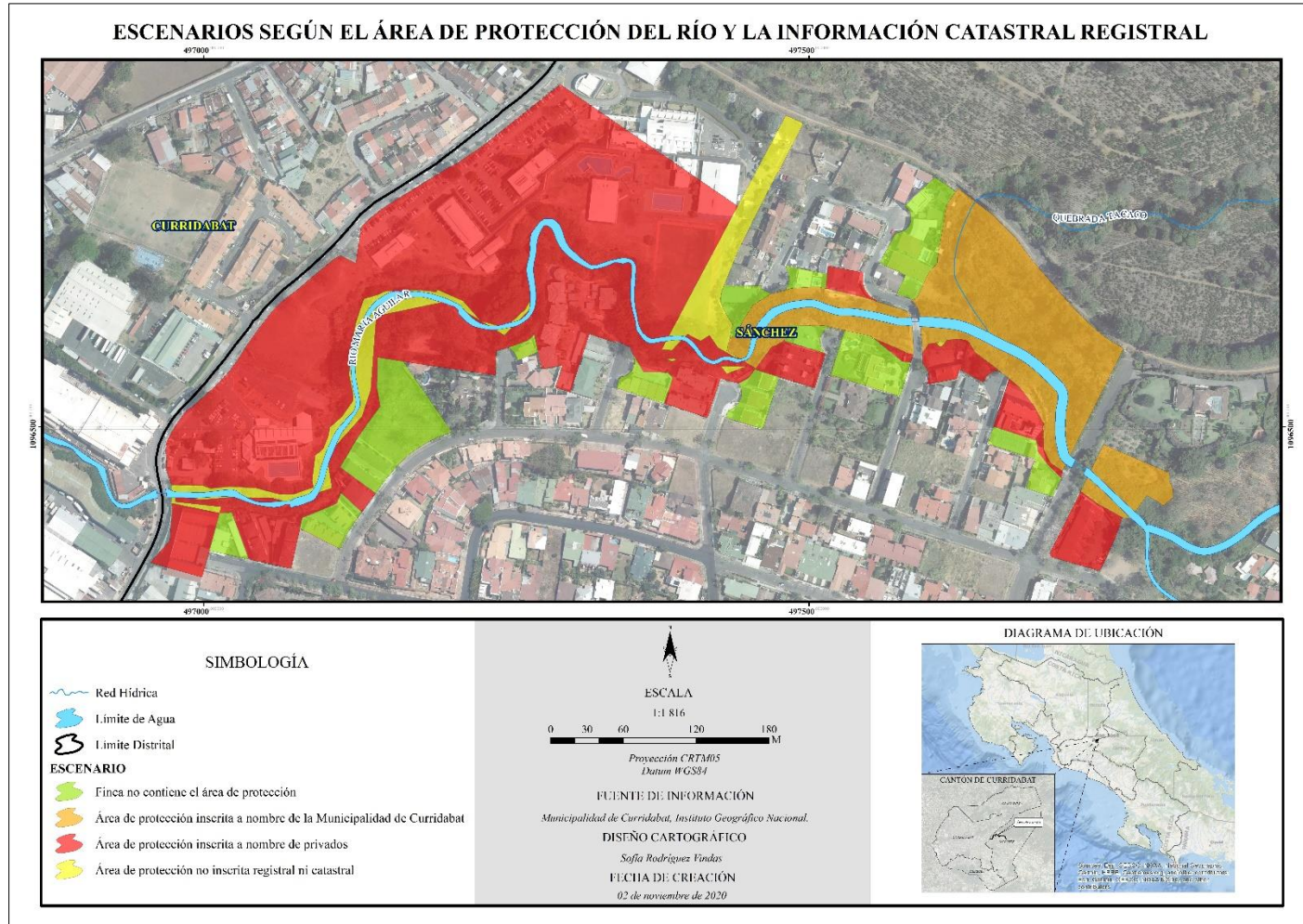


Fuente: elaboración propia.

En el Mapa 19 se puede observar la distribución y ubicación espacial de cada uno de los escenarios registrales y catastrales que se lograron identificar en el área de estudio.

Mapa 19

Escenarios registrales y catastrales.



Fuente: elaboración propia.

Por último, se procede a extraer para el área de protección de río los escenarios identificados dentro de ella, con el fin de establecer con precisión la composición de los escenarios que la integran (Tabla 9)

Tabla 9

Escenarios presentes en el área de protección de río.

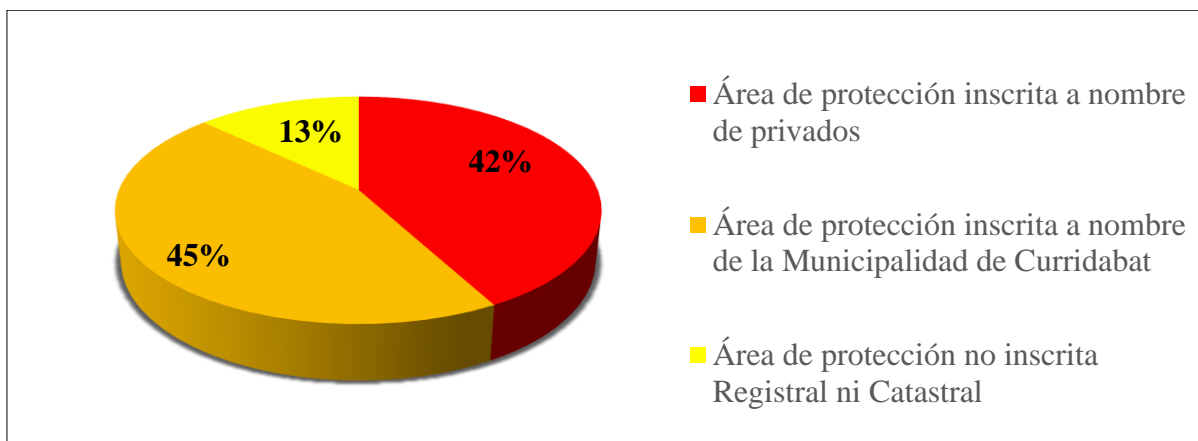
| Área de Protección vs Escenarios | Área (m²) |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Área de protección inscrita a nombre de privados | 16478,10 |
| Área de protección inscrita a nombre de la Municipalidad de Curridabat | 17571,81 |
| Área de protección no inscrita Registral ni Catastral | 5063,58 |
| Total | 39113,49 |

Fuente: elaboración propia.

Al sobreponer los escenarios registrales con el área de protección de río, y con base en el Gráfico 6, se logra observar que el 45% del área de protección está conformada por fincas inscritas a nombre de la Municipalidad de Curridabat, un 42% del área de protección está inscrita a nombre de privados, y 13% restante, no tiene información registral ni catastral asociada.

Gráfico 6

Escenarios en el área de protección de río

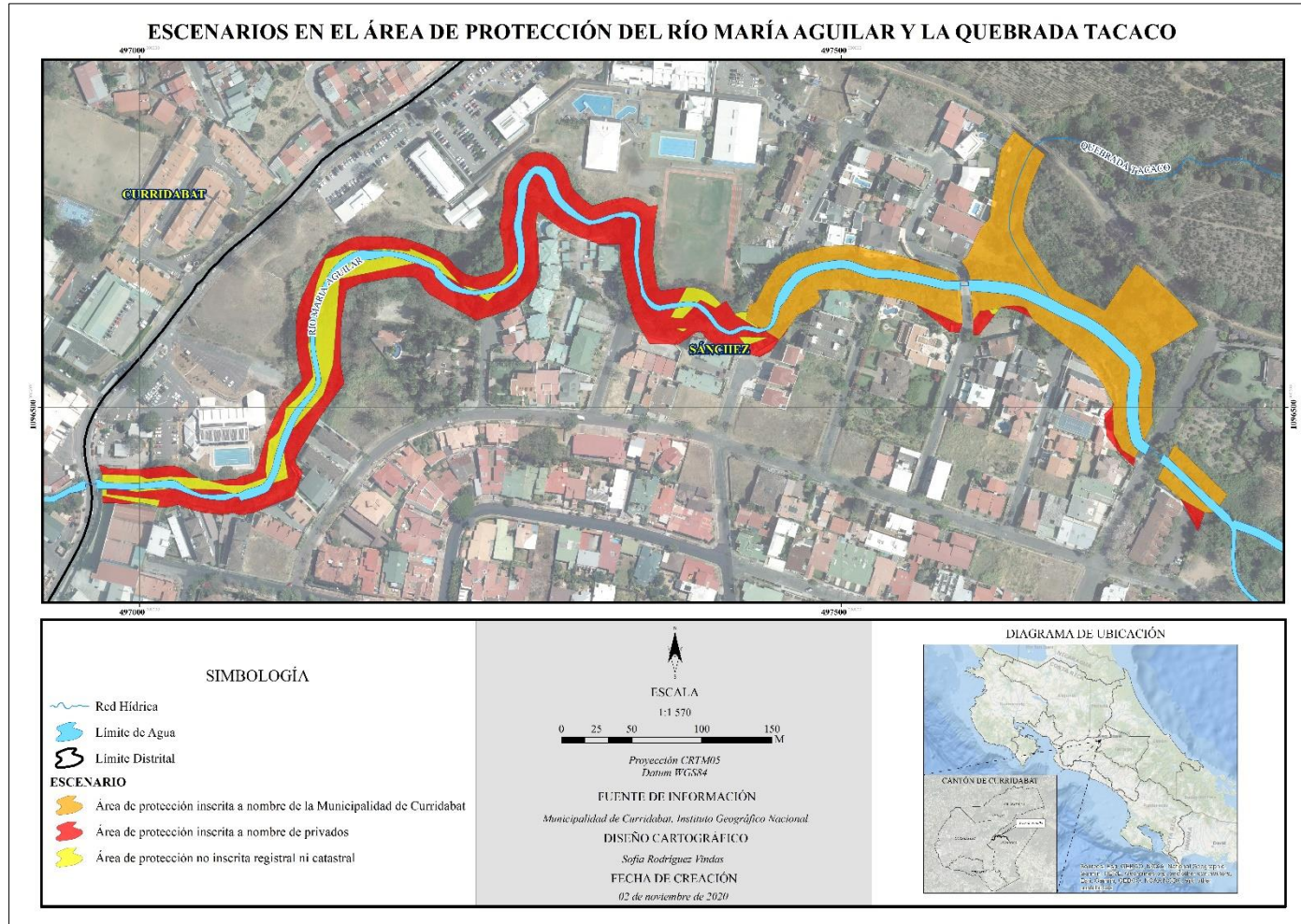


Fuente: elaboración propia.

En el Mapa 20 se puede observar la distribución y ubicación espacial de cada uno de los escenarios registrales y catastrales presentes en el área de protección de río.

Mapa 20

Escenarios en el Área de Protección del Río María Aguilar y la Quebrada Tacaco



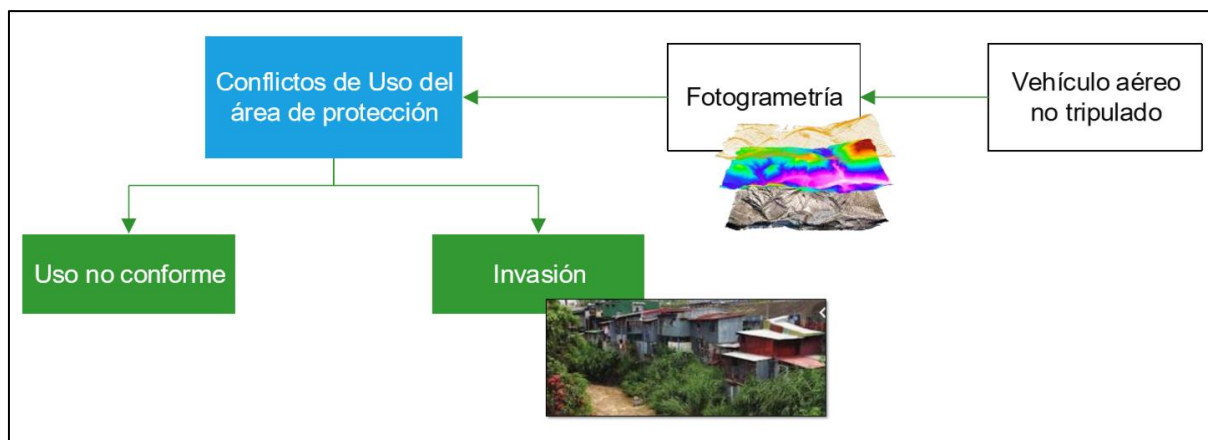
Fuente: elaboración propia.

4.3. Identificar conflictos de uso en las áreas de protección del río María Aguilar

A partir del área de protección del río y de los escenarios anteriormente descritos, y tomando en cuenta el ortomosaico generado del levantamiento fotogramétrico, se logra identificar sitios con posibles invasiones o uso no conforme del área de protección Río María Aguilar, por lo que, para dichas áreas, se debe establecer una estrategia y método para controlarlas y protegerlas (Figura 57)

Figura 57

Conflictos de uso del área de protección de río

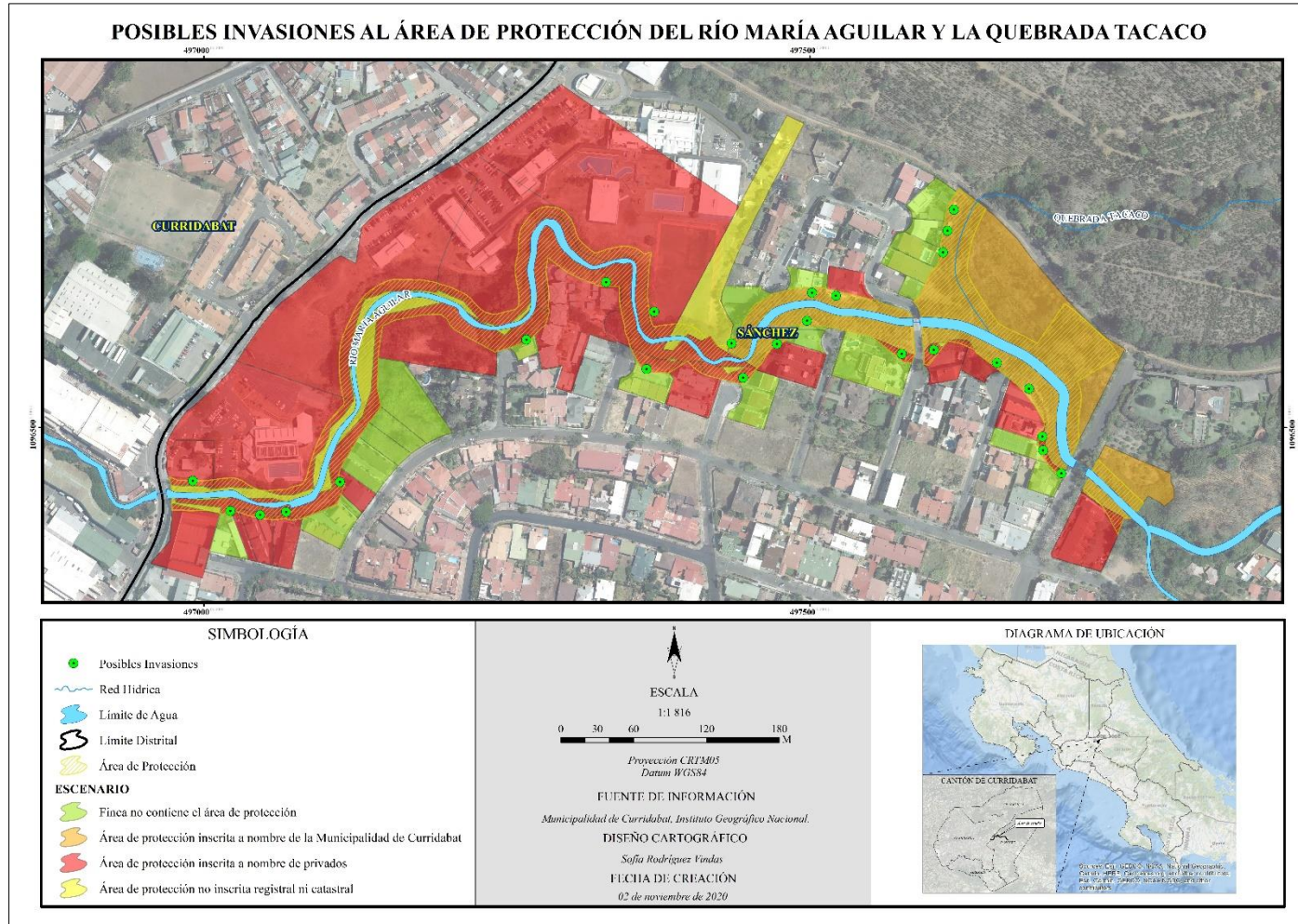


Fuente: elaboración propia.

Antes de obtener los datos del levantamiento fotogramétrico, se procedió a realizar un ejercicio desde gabinete, al sobreponer las siguientes capas: área de protección del río, escenarios catastrales y registrales, y la ortofoto del año 2017; logrando identificar 26 sitios con posibles invasiones o uso no conforme del área de protección río, es importante tener en cuenta que la situación actual en el área de protección pudo haber cambiado en los últimos 3 años (Mapa 21).

Mapa 21

Posibles invasiones al área de protección del Río María Aguilar y la Quebrada Tacaco



Fuente: elaboración propia

Estas posibles invasiones al área de protección de río se deben de analizar a profundidad para determinar la situación actual, la existencia de edificaciones o el cambio de uso de la tierra, por lo que, es fundamental el levantamiento fotogramétrico obtenido mediante un Vehículo Aéreo No Tripulado.

4.3.1. *Uso conforme y no conforme del área de protección del río*

Con base en el levantamiento fotogramétrico, se realiza la fotointerpretación del área de protección de río identificando dos tipos de uso, los cuales corresponden a uso conforme del área de protección de río y el uso no conforme de área de protección de río (Tabla 10).

Tabla 10

Usos del área de protección de Río.

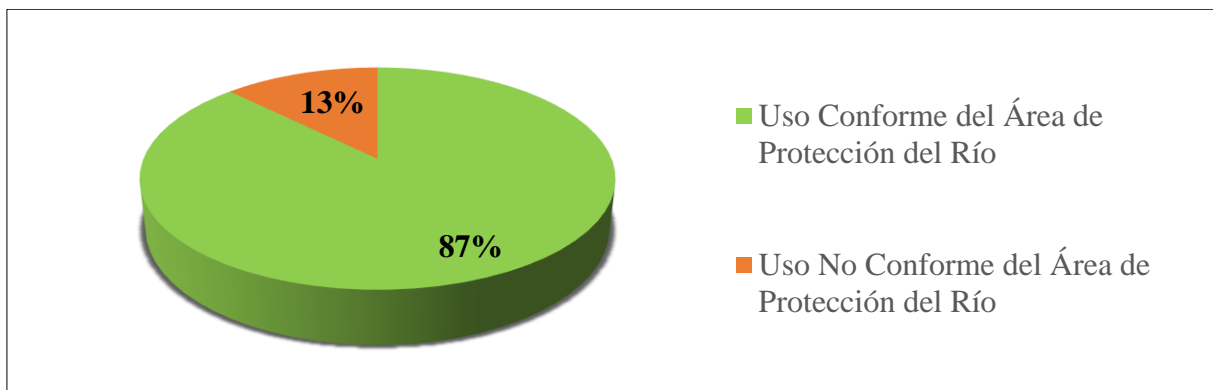
| Usos del área de protección de río | Área (m ²) |
|------------------------------------------------|------------------------|
| Uso Conforme del Área de Protección del Río | 34191,92 |
| Uso No Conforme del Área de Protección del Río | 4921,57 |
| Total | 39113,49 |

Fuente: elaboración propia.

Reflejando un 87% de área de protección río presenta un uso conforme con base en la ley Forestal N° 7575, y un 13% del área de protección de río presenta un uso no conforme, que corresponde a 4921,57 m² (Gráfico 7).

Gráfico 7

Usos del área de protección de Río.

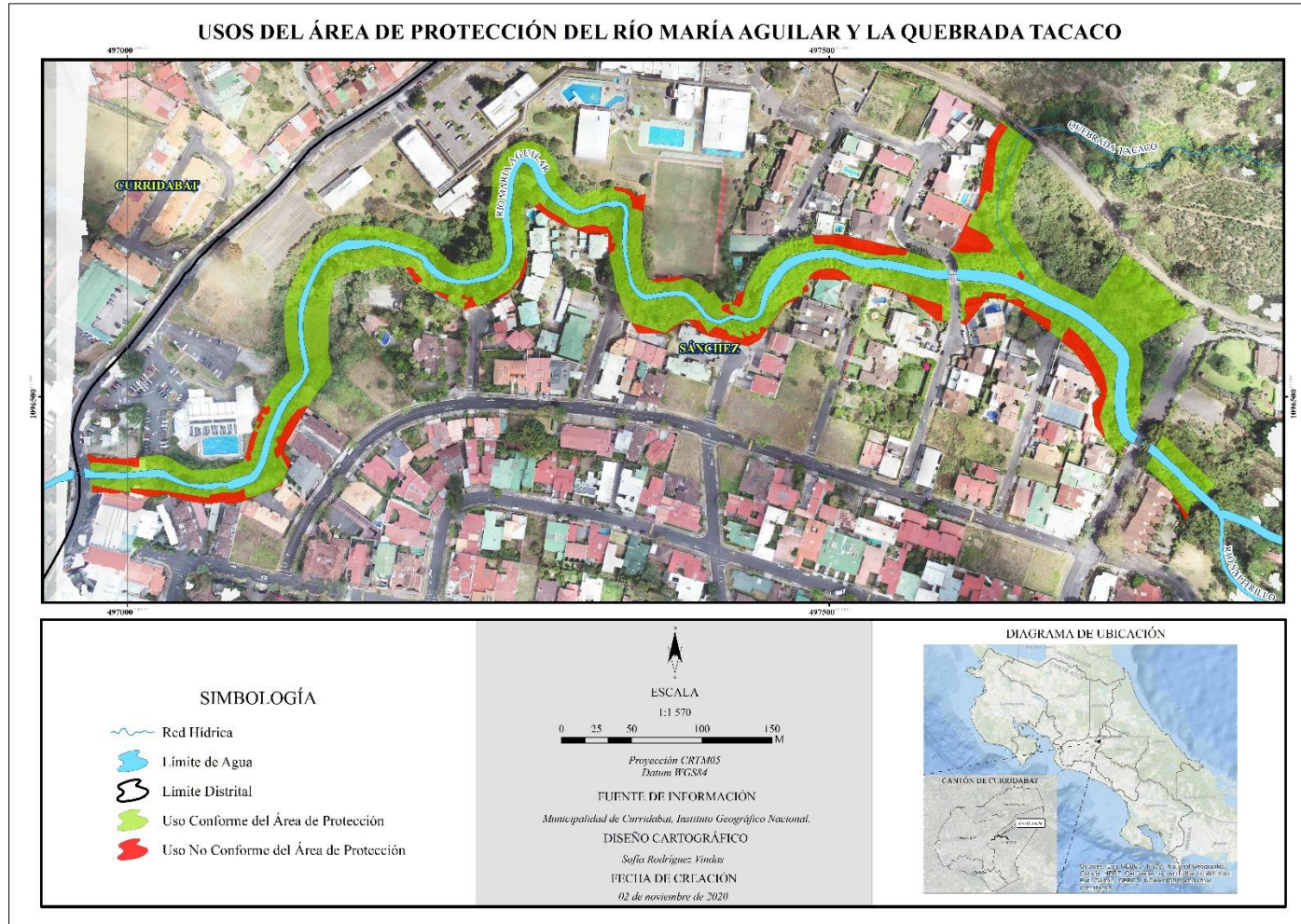


Fuente: elaboración propia.

En el Mapa 22 se puede observar la distribución y ubicación espacial con los usos no conforme del área de protección de río.

Mapa 22

Usos del área de protección del Río María Aguilar y la Quebrada Tacaco



Fuente: elaboración propia.

A partir de la delimitación y ubicación de las zonas que presentan el uso no conforme del área de protección de río, es fundamental relacionar como se logró definir el área de protección del río para cada una de estas zonas identificadas, con el fin de generar un insumo que facilite la protección de la misma, por lo que, es importante determinar si el área de protección de río se generó con base en diseños de sitio, Informes registrales, planos catastrados, o la metodología del INVU (Tabla 11).

Tabla 11

Usos no conforme del área de protección

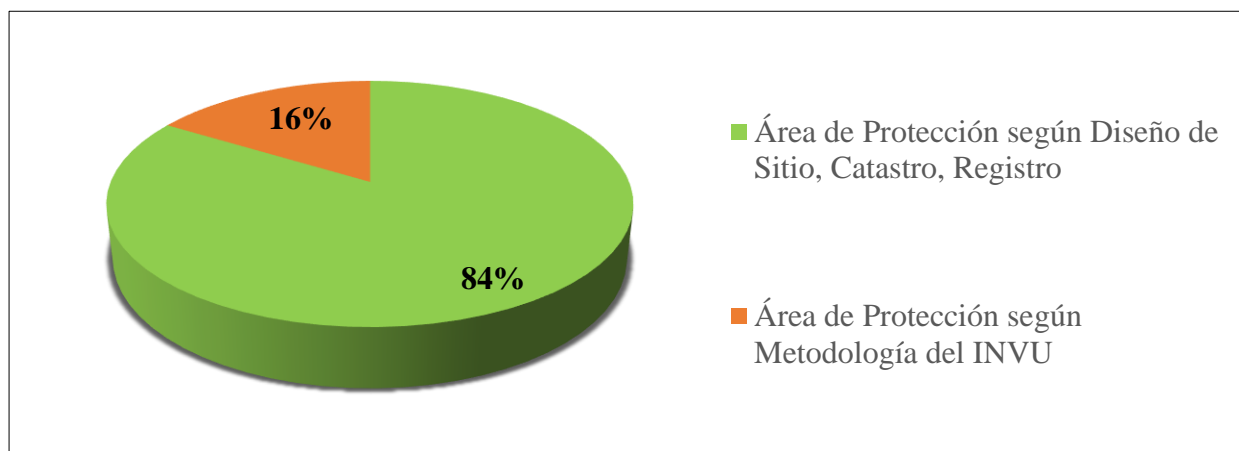
| Uso No Conforme del Área de Protección del Río | Área (m²) |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Área de Protección según Diseño de Sitio, Catastro, Registro | 4118,90 |
| Área de Protección según Metodología del INVU | 802,67 |
| Total | 4921,57 |

Fuente: elaboración propia.

Se identifica que un 84% del uso no conforme del área de protección de río presenta información registral, catastral, diseños de sitio en los cuales se fundamentan su delimitación, y un 16% del uso no conforme del área de protección de río se generó con base en la metodología del INVU (Gráfico 8).

Gráfico 8

Usos no conforme del área de protección de Río

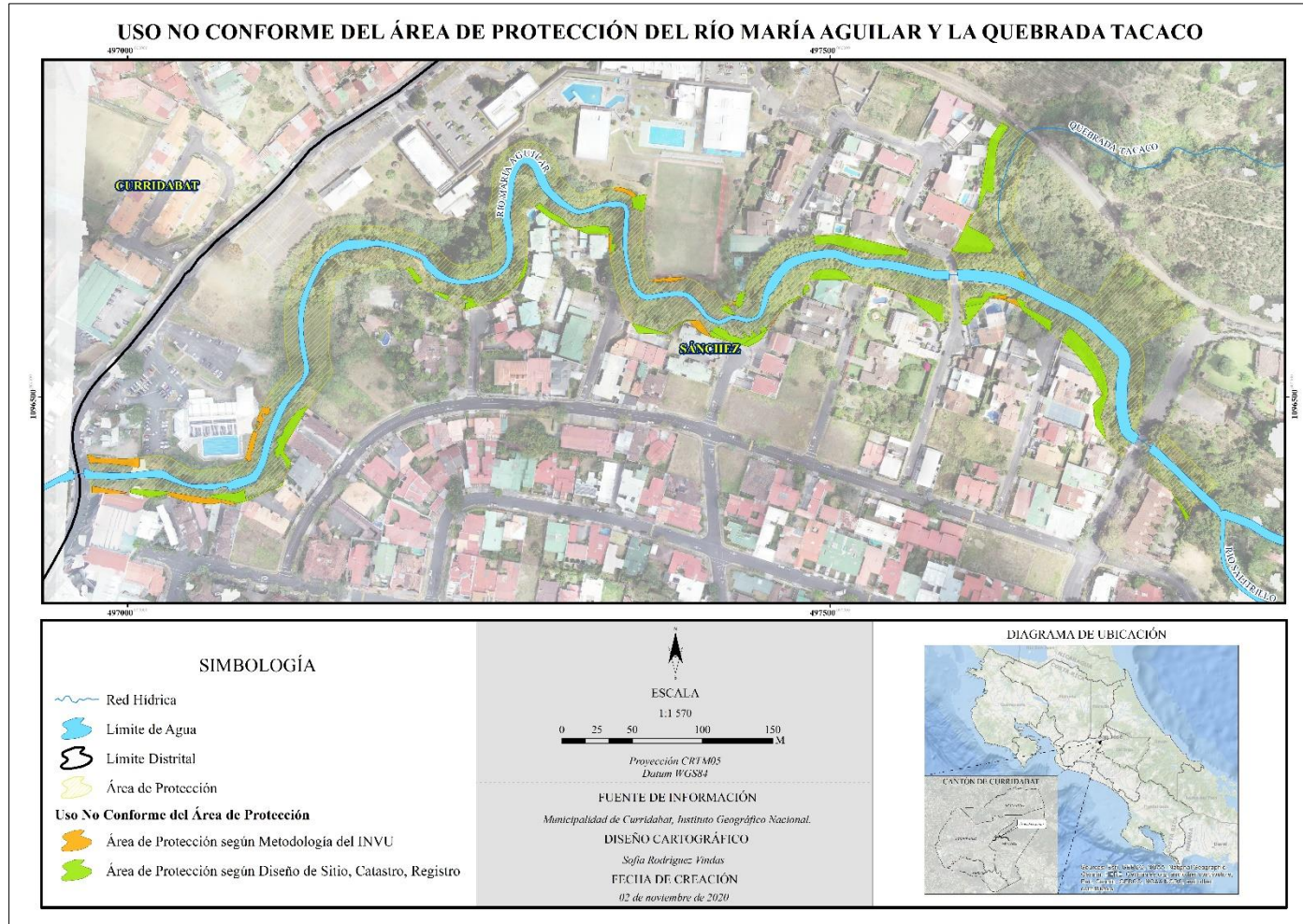


Fuente: elaboración propia.

El Mapa 23 muestra la distribución y ubicación espacial del uso no conforme al área de protección de río, identificando si el área de protección se generó con base información registral, catastral, diseños de sitio o por la metodología del INVU.

Mapa 23

Uso no conforme del área de protección del Río María Aguilar y la Quebrada Tacaco



Fuente: elaboración propia.

Estas zonas que presentan usos no conformes al área de protección del río María Aguilar, se logran clasificar en: inscritas a nombre de privados, inscritas a nombre de la Municipalidad de Curridabat, y en áreas que no presentan información registral ni catastral (Tabla 12).

Tabla 12

Usos no conforme del área de protección y los escenarios registrales.

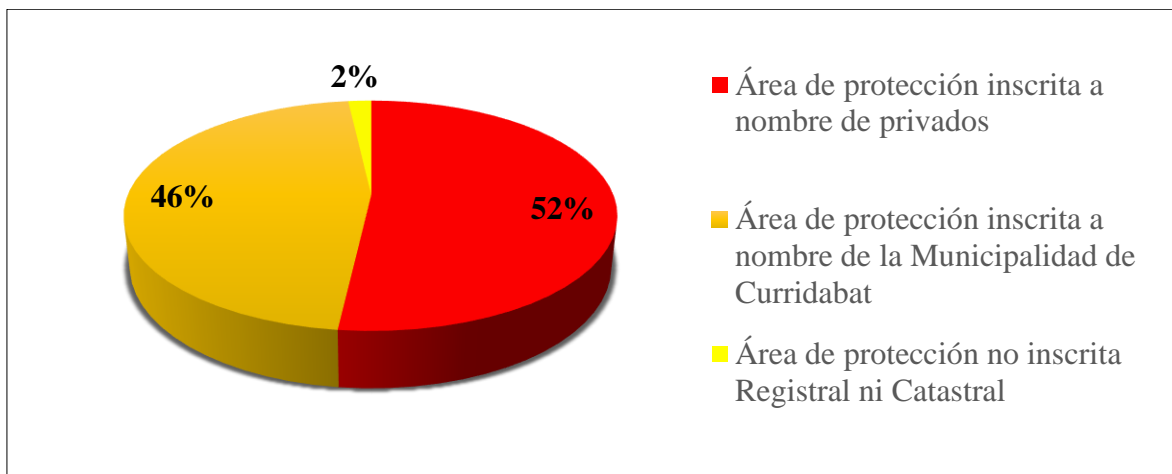
| Uso No Conforme del Área de Protección del Río vs Escenarios | Área (m²) |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Área de protección inscrita a nombre de privados | 2549,57 |
| Área de protección inscrita a nombre de la Municipalidad de Curridabat | 2284,13 |
| Área de protección no inscrita Registral ni Catastral | 87,87 |
| Total | 4921,57 |

Fuente: elaboración propia.

Con base en el uso no conforme del área de protección de río María Aguilar, un 52% está inscrita a nombre de privados, un 46% a nombre de la Municipalidad de Curridabat, y un 2% no presenta información registral ni catastral (Gráfico 9)

Gráfico 9

Usos no conforme del área de protección de Río y escenarios registrales

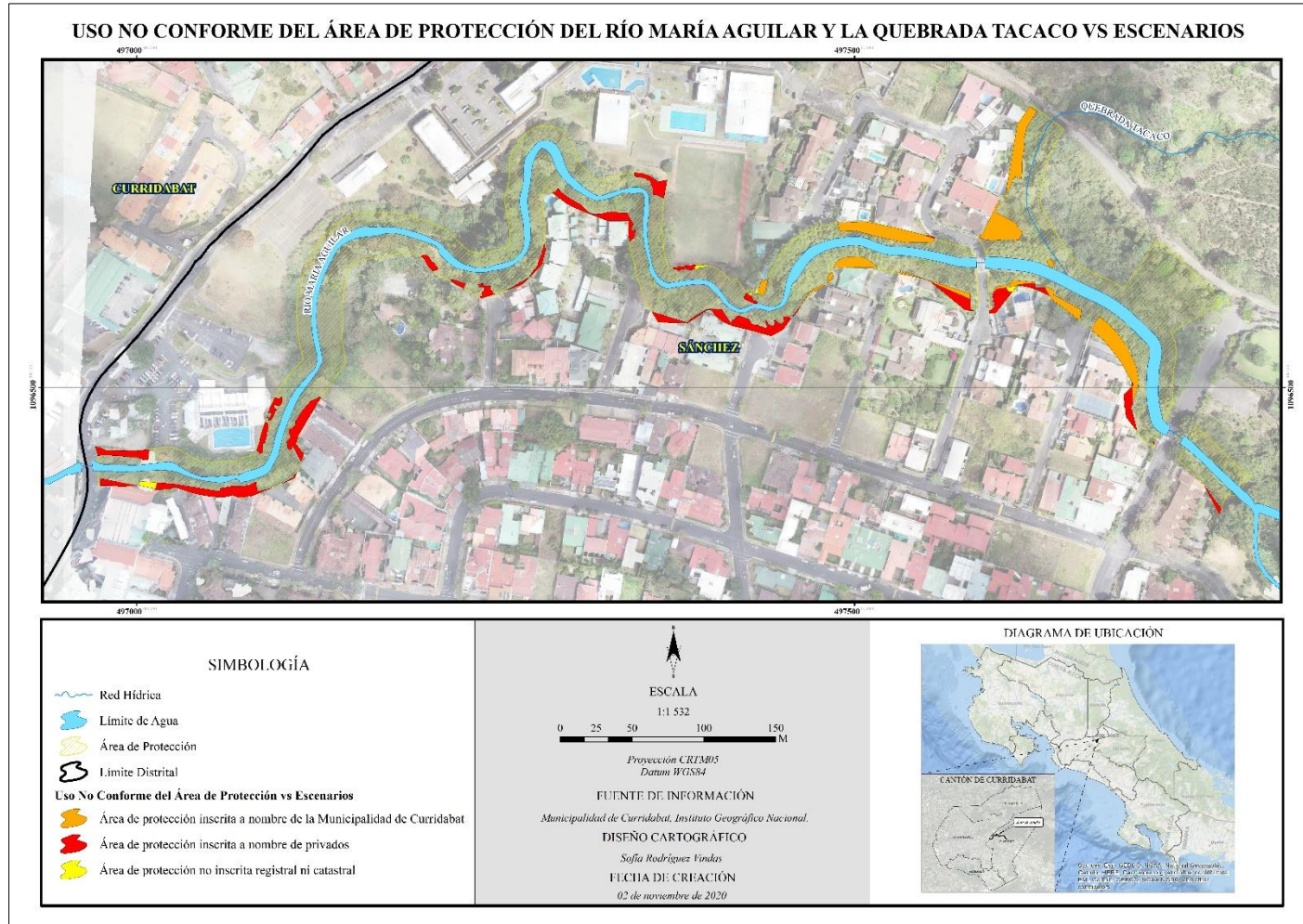


Fuente: elaboración propia.

En el Mapa 24 se logra observar la distribución y ubicación espacial de los usos no conforme a las áreas de protección de río que están a nombre de privados, a nombre de la Municipalidad de Curridabat y las áreas que no tiene información registral ni catastral asociada.

Mapa 24

Usos no conforme del área de protección y los escenarios registrales.



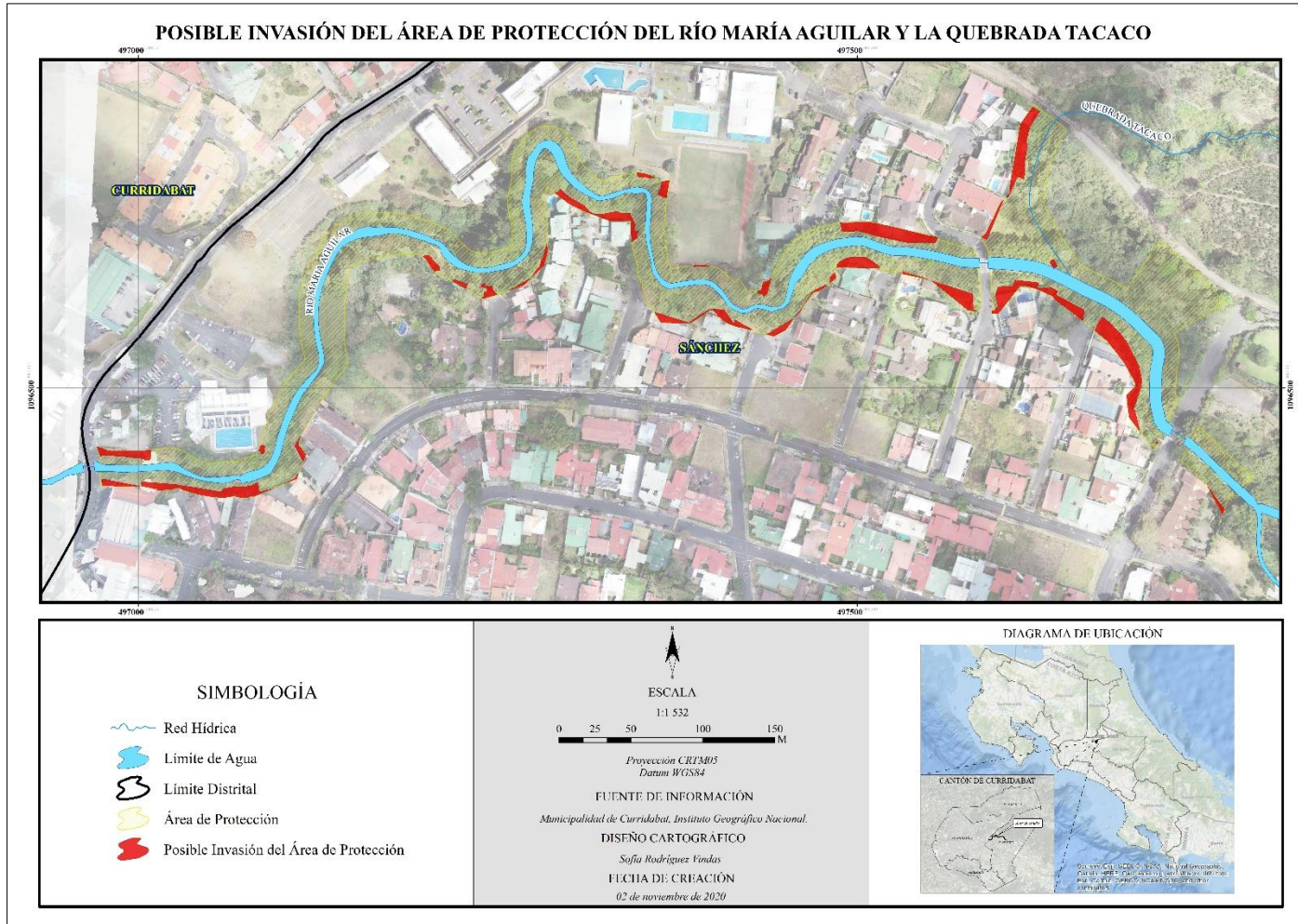
Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Posibles invasiones al área de protección del río

Dentro de las zonas que muestran el uso no conforme del área de protección de río, se presentan usos considerados invasiones al área de protección, los cuales corresponden a obra civil de infraestructura (edificios, casas, porquerizas, establos, etc), colocación de lastre, colocación de objetos móviles, ubicación de caminos que las atraviesen, entre muchos otros. En el artículo 58 de la Ley Forestal el verbo utilizado invadir es sinónimo a irrumpir, penetrar, acometer u **ocupar**, lo antepuesto tiene respaldo en el voto del Tribunal de Casación Penal de Goicoechea número 713-2003. Con base en estos parámetros se logra identificar las áreas que presentan posible invasión al área de protección midiendo un área aproximada de 3969,92 m², en el mapa 25 se puede observar la distribución y ubicación espacial de las áreas con posible invasión al área de protección de río.

Mapa 25

Áreas consideradas como posible Invasión del área de protección.



Fuente: elaboración propia.

Al sobreponer las áreas que presentan posibles invasiones con el área de protección de río, se logran identificar 3351,04 m² de área que presenta la posible invasión, fue delimitada como área de protección debido a información del diseño de sitio, catastro y registro. Mientras que, los restantes 618,88 m² de área con posible invasión fue delimitada por medio del cálculo de la metodología digital del INVU (Tabla 13).

Tabla 13

Posible invasión del área de protección.

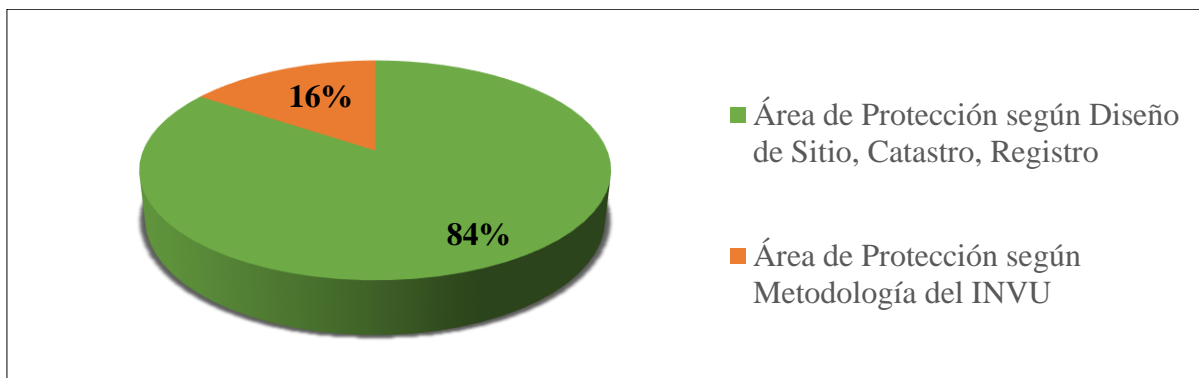
| Posible Invasión del Área de Protección del Río | Área (m²) |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Área de Protección según Diseño de Sitio, Catastro, Registro | 3351,04 |
| Área de Protección según Metodología del INVU | 618,88 |
| Total | 3969,92 |

Fuente: elaboración propia.

En el gráfico 10 se identifica que un 84% de las áreas con posible invasión al área de protección de río presenta información registral, catastral, diseños de sitio en los cuales se fundamentan su delimitación, y un 16% de las áreas con posible invasión al área de protección de río se generó con base en la metodología del INVU

Gráfico 10

Posible Invasión del área de protección de río

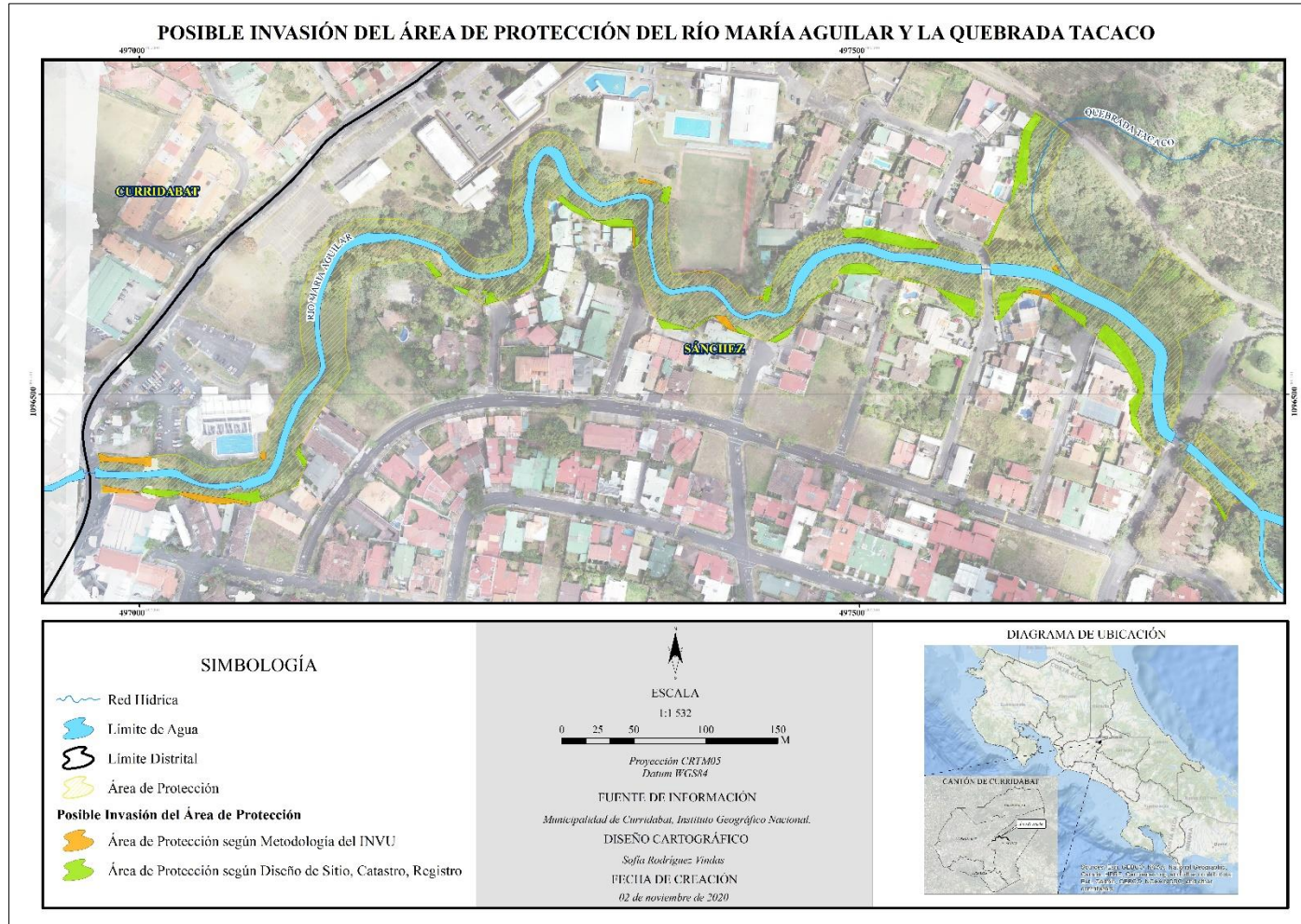


Fuente: elaboración propia.

En el Mapa 26 se puede observar la distribución y ubicación espacial de las áreas con posible invasión al área de protección de río, asociando si el área de protección se generó con base en información registral, catastral, diseños de sitio o por la metodología del INVU.

Mapa 26

Possible Invasión del área de protección.



Fuente: elaboración propia.

Estas zonas que presentan posibles invasiones al área de protección del río María Aguilar, se logran clasificar en: inscritas a nombre de privados, inscritas a nombre de la Municipalidad de Curridabat, y en áreas que no presentan información registral ni catastral (Tabla 14)

Tabla 14

Posible invasión del área de protección y los escenarios registrales.

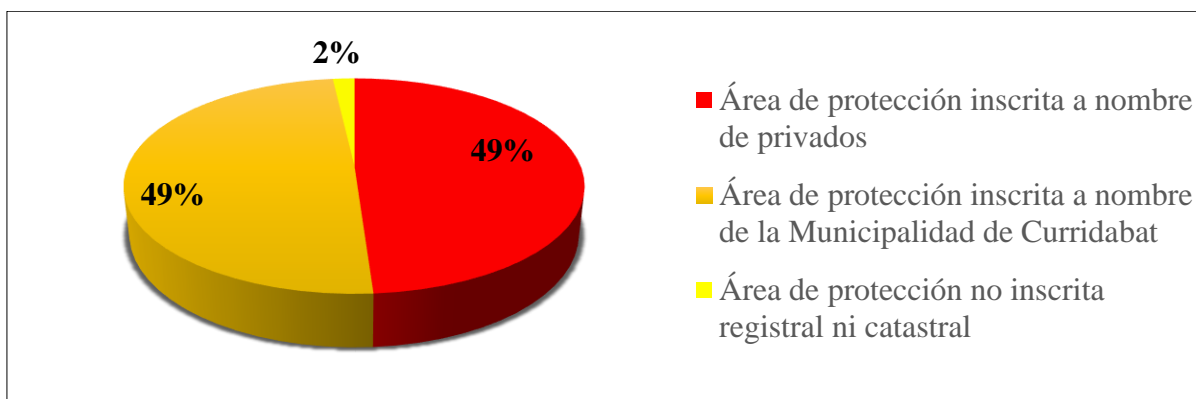
| Posible Invasión del Área de Protección del Río vs Escenarios | Área (m²) |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Área de protección inscrita a nombre de privados | 1941,84 |
| Área de protección inscrita a nombre de la Municipalidad de Curridabat | 1956,33 |
| Área de protección no inscrita registral ni catastral | 71,75 |
| Total | 3969,92 |

Fuente: elaboración propia.

A partir de la identificación de los sitios que presentan posibles invasiones al área de protección del río María Aguilar, y con base en el Gráfico 11, se logra determinar que un 49% está inscrita a nombre de privados, un 49% a nombre de la Municipalidad de Curridabat, y un 2% no presenta información registral ni catastral. Es importante resaltar en cuanto al 49% de los sitios que presentan posibles invasiones al área de protección de río María Aguilar, a nombre de la Municipalidad, se deben a invasiones de terceros a estas áreas pertenecientes al **demanio público**.

Gráfico 11

Posible Invasión del área de protección de río y escenarios registrales

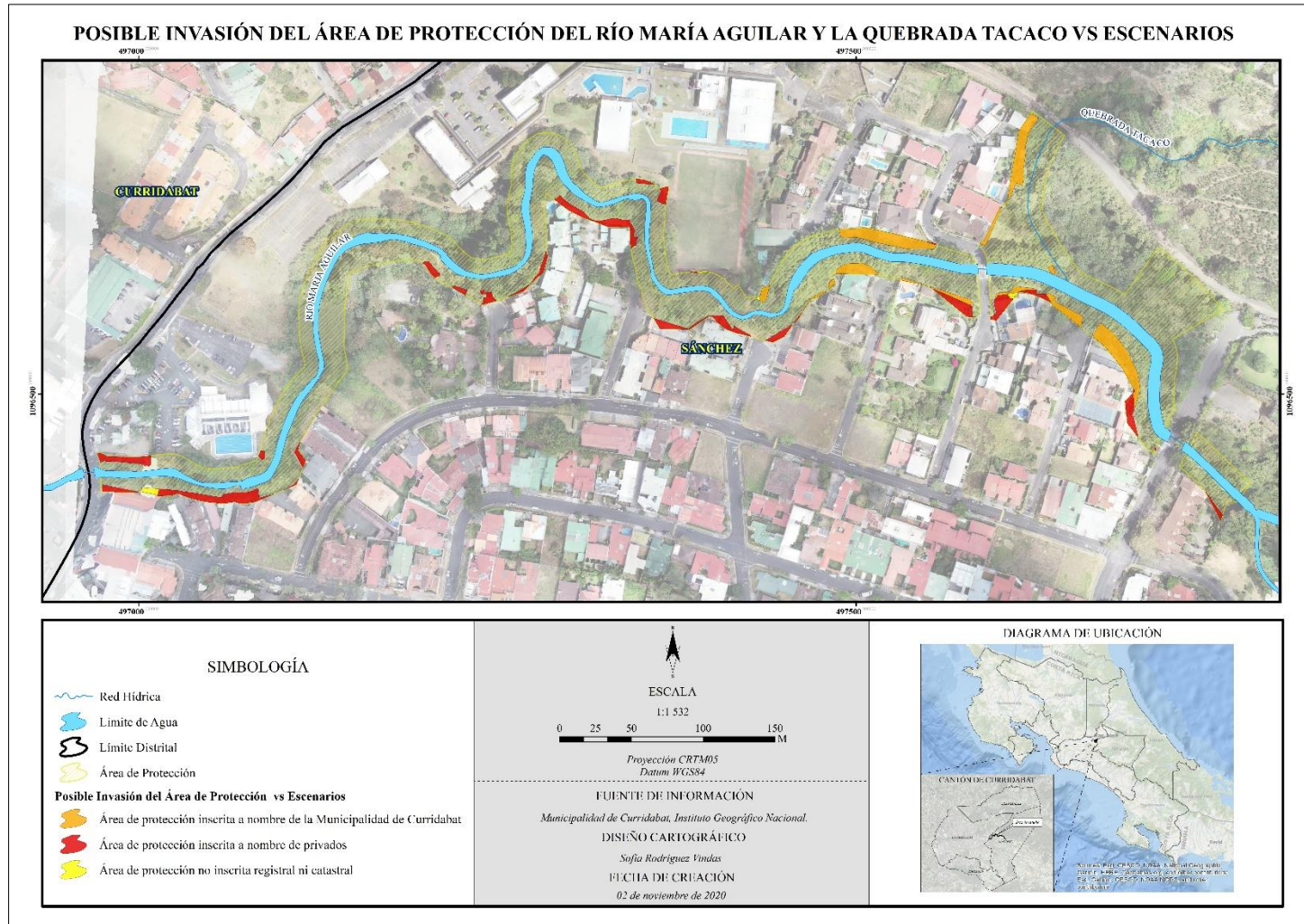


Fuente: elaboración propia.

En el Mapa 27 se puede observar la distribución y ubicación espacial de los sitios que presentan posibles invasiones al área de protección de río que están a nombre de privados, a nombre de la Municipalidad de Curridabat y las áreas que no tiene información registral ni catastral asociada.

Mapa 27

Posible Invasión del área de protección y los escenarios registrales



Fuente: elaboración propia.

CAPITULO 5: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Discusión

Una de las técnicas para la delimitación del área de protección es la aplicación de la metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU, la cual utiliza como paso inicial generar una línea base, mediante un buffer, a partir de la red hídrica extraída de la cartografía del año 2017, a 10 metros y a 50 metros como línea base. A partir de ahí, se generarán líneas perpendiculares, que van desde el margen del río hasta 50 metros. Seguidamente de cada línea perpendicular se extrae la altura mínima (en el margen del río) y máxima (altura a 50 m horizontales) con base en las curvas de nivel y el modelo digital del año 2017.

Luego se aplica la fórmula para determinar el porcentaje promedio de la pendiente, dicha fórmula se describe con más detalles en el acápite 3.4.3, en la cual la diferencia de altura entre el punto de altura máxima y el punto de altura mínima de cada una de las líneas perpendiculares se divide entre la distancia máxima a la que puede extenderse el área de protección, ósea 50 metros estipulados por el INVU. Si el resultado del porcentaje promedio de la pendiente es superior al 40% en áreas urbanas y rurales, la distancia de alineamiento otorgada por el INVU es de 50 metros horizontales, y si el resultado del porcentaje promedio de la pendiente es menor al 40% en áreas urbanas, la distancia de alineamiento otorgada por el INVU es de 10 metros horizontales.

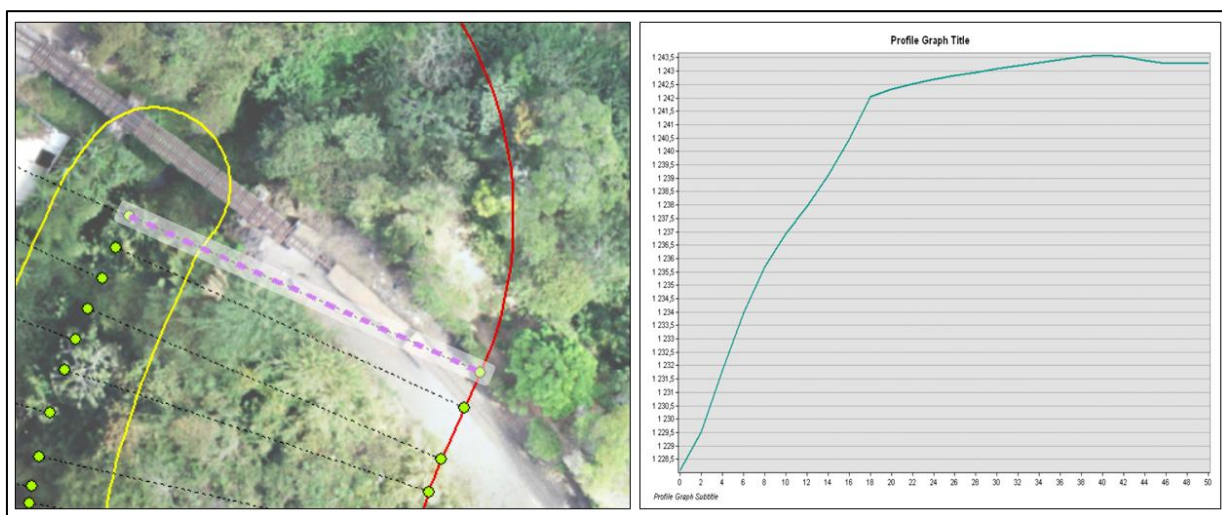
Al aplicar dicha metodología en el área de estudio, se presenta una situación particular en un sitio específico, el cual representa una sección del río de casi 65 metros lineales paralelos al margen del río, en donde, a partir de la visita de campo se observa una especie de cañón muy pronunciado y con fuerte pendiente a corta distancia del río; al aplicar dicho calculo, el resultado del porcentaje

promedio de la pendiente en esa sección del río oscila de 30,66% a 32,57% aproximadamente, en cuyo caso la distancia de alineamiento otorgada por el INVU es de 10 metros horizontales.

Sin embargo, si observamos dicho sitio por medio de un gráfico de perfil del Modelo Digital del Terreno del año 2017, se identifica una fuerte pendiente desde el margen del río hasta unos 18 metros horizontales, con una profundidad de 13,5 metros aproximadamente; lo cual coincide con lo percibido en la visita de campo (Figura 58). Al contemplar en la fórmula la distancia máxima a la que puede extenderse el área de protección que corresponde 50 metros horizontales, para este caso específico, existen 32 metros horizontales relativamente planos que están afectando el resultado del cálculo del promedio de la pendiente.

Figura 58

Perfil Topográfico

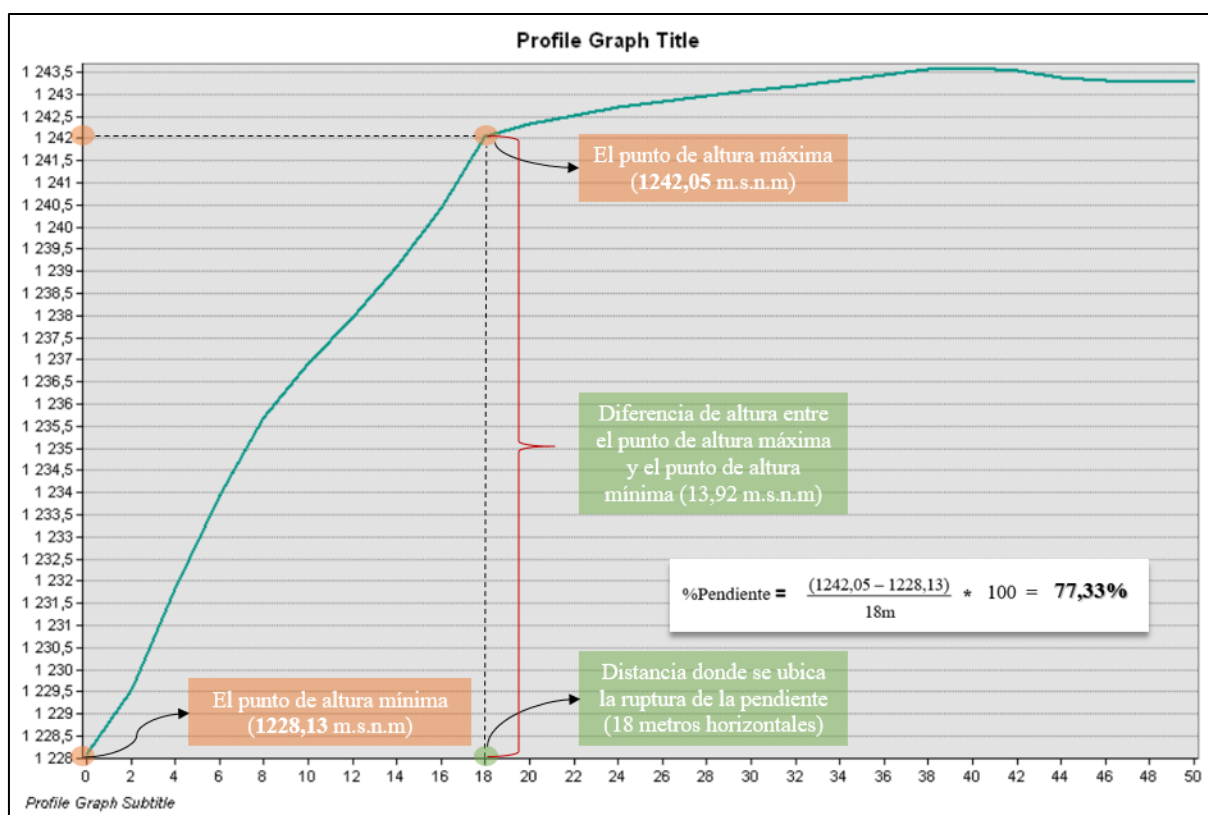


Fuente: elaboración propia.

Si la fórmula se aplica teniendo en cuenta la topografía del sitio, identificando la ruptura de la pendiente, para este caso específico va desde el margen del río hasta 18 metros horizontales, en la cual la diferencia de altura entre el punto de altura máxima (1242,05 m.s.n.m) y el punto de altura mínima (1228,13 m.s.n.m), se divide entre la distancia donde se ubica la ruptura de la pendiente (18 metros horizontales), cuyo resultado del porcentaje de pendiente promedio es de 77,33% (Figura 59). Por lo que el resultado del porcentaje promedio de la pendiente es superior al 40%, por tanto, la distancia de alineamiento otorgada por el INVU es de 50 metros horizontales.

Figura 59

Cálculo del porcentaje de pendiente promedio

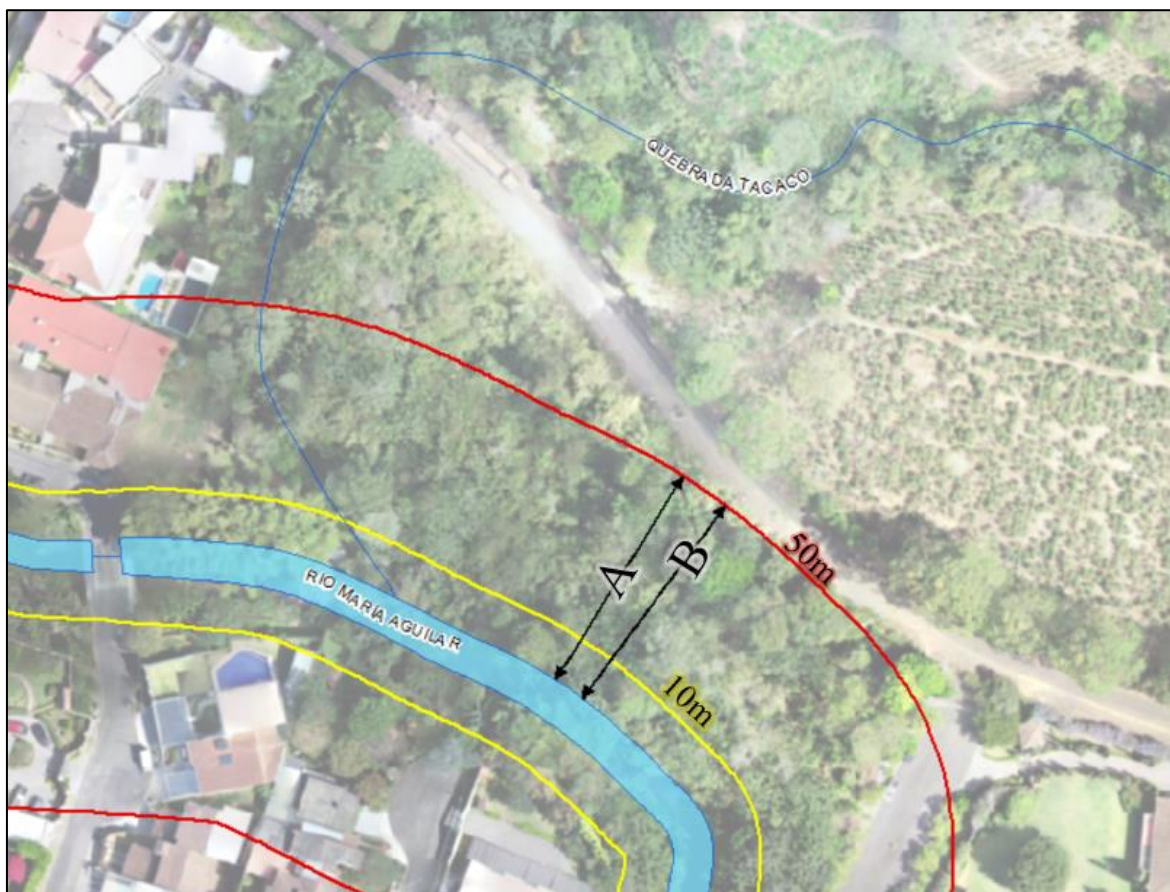


Fuente: elaboración propia.

Otro ejemplo donde se calculó el porcentaje promedio de la pendiente presente en el área de estudio corresponde a la comparación de dos sitios contiguos representados como caso A y B los cuales se logran observar en la Figura 60.

Figura 60

Ubicación del caso A y B

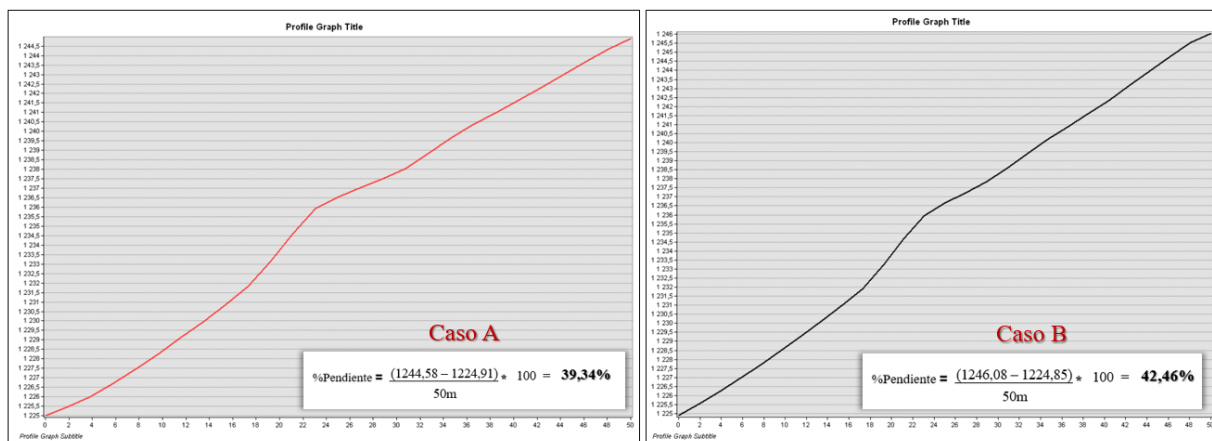


Fuente: elaboración propia.

Al aplicar la metodología para el cálculo del porcentaje promedio de la pendiente del INVU, el resultado para el caso A y B representados en la Figura 61, corresponde a 39,34% y 42,46%, respectivamente. Con base en este resultado para el caso A, el alineamiento otorgado por el INVU es de 10 metros horizontales y para el caso B, el alineamiento otorgado por el INVU es de 50 metros horizontales, pese a la cercanía de ambos casos.

Figura 61

Cálculo del porcentaje de pendiente promedio caso A y B



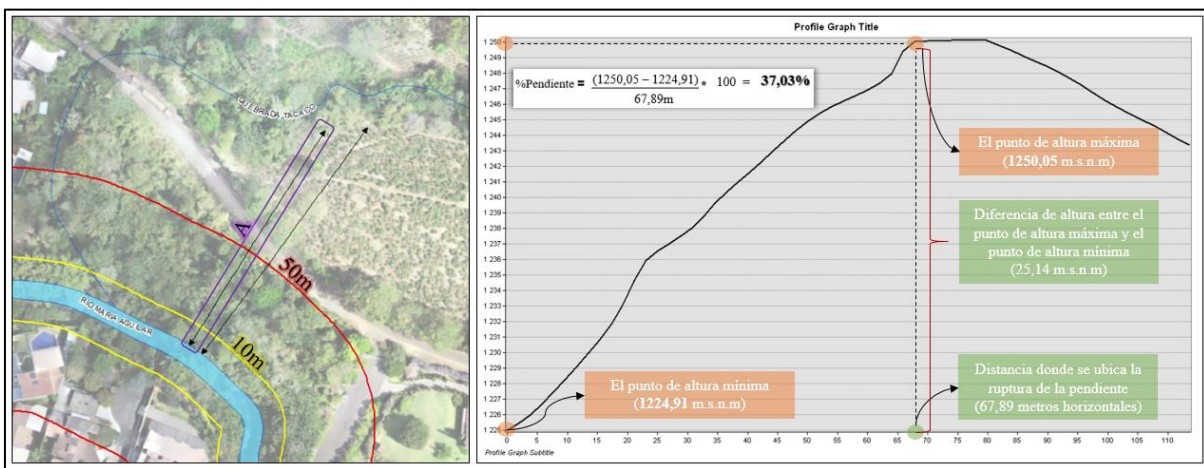
Fuente: elaboración propia.

Si la fórmula se aplica teniendo en cuenta la topografía del sitio, identificando la ruptura de la pendiente, para ambos casos, la distancia del alineamiento podría cambiar. Con respecto al caso A, se identifica la ruptura de la pendiente desde el margen del río hasta 67,89 metros horizontales, en la cual la diferencia de altura entre el punto de altura máxima (1250,05 m.s.n.m) y el punto de altura mínima (1224,91 m.s.n.m), se divide entre la distancia donde se ubica la ruptura de la pendiente (67,89 metros horizontales), cuyo resultado del porcentaje de pendiente promedio es de

37,03% (Figura 62). Por lo que, el resultado del porcentaje promedio de la pendiente es inferior al 40%, por tanto, la distancia de alineamiento otorgada por el INVU es de 10 metros horizontales, este resultado es compatible con el obtenido al aplicar la metodología del INVU.

Figura 62

Cálculo del porcentaje de pendiente promedio caso A, tomando en cuenta la topografía y la ruptura de la pendiente

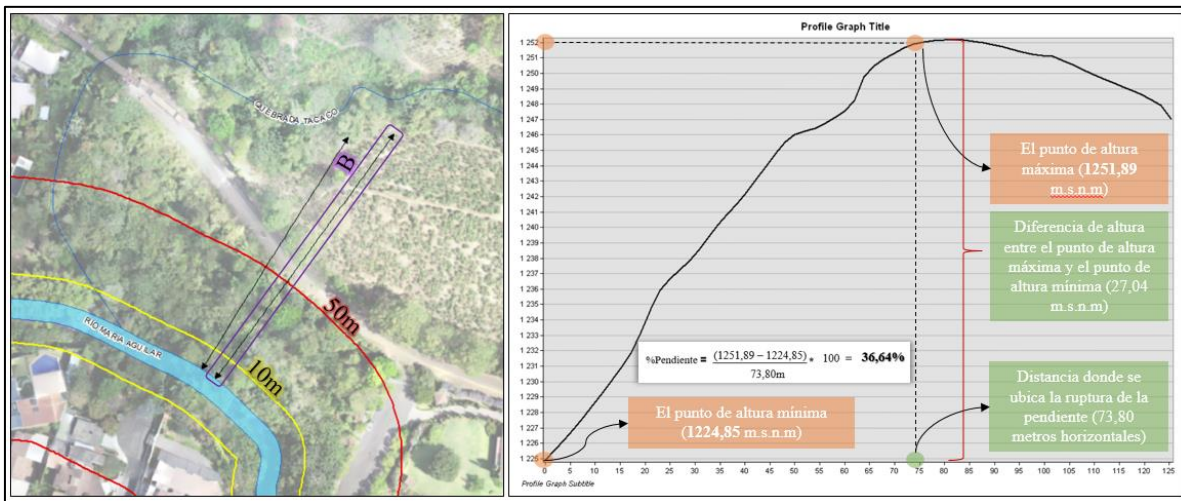


Fuente: elaboración propia.

Con respecto al caso B, se identifica la ruptura de la pendiente desde el margen del río hasta 73,80 metros horizontales, en la cual la diferencia de altura entre el punto de altura máxima (1251,89 m.s.n.m) y el punto de altura mínima (1224,85 m.s.n.m), se divide entre la distancia donde se ubica la ruptura de la pendiente (73,80 metros horizontales), cuyo resultado del porcentaje de pendiente promedio es de 36,64% (Figura 63). Por lo que, el resultado del porcentaje promedio de la pendiente es inferior al 40%, por tanto, la distancia de alineamiento otorgada por el INVU es de 10 metros horizontales, este resultado no es compatible con el obtenido al aplicar la metodología del INVU, ya que según el cálculo el alineamiento en este sitio es de 50 metros horizontales.

Figura 63

Cálculo del porcentaje de pendiente promedio caso B, tomando en cuenta la topografía y la ruptura de la pendiente



Fuente: elaboración propia.

Esta situación es de importancia advertir teniendo en cuenta los diferentes escenarios existentes en las márgenes de los ríos, presentando pendientes y topografía muy variada, por lo que, aplicar esta fórmula sin analizar previamente a que distancia horizontal del margen del río se presenta la ruptura de la pendiente, puede afectar el alineamiento del área de protección de río, como sucedió en el caso anteriormente descrito.

Además, es fundamental considerar la definición tanto del terreno quebrado, como del terreno plano, en la aplicación de la metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU; ya que ambas definiciones mencionan la pendiente promedio, pero al aplicar dicha metodología se calcula únicamente una pendiente ubicada a 50 metros del margen del río.

En cuanto a considerar la información Registral y Catastral para la delimitación del área de protección del río, así como para establecer los escenarios Registrales y Catastrales presentes en ella, es fundamental ya que permite relacionar las fincas que integran o forman parte del área de protección, identificando zonas donde no se logró asociar información registral ni catastral, permitiendo establecer estrategias para garantizar el resguardo de dichas áreas.

Así mismo, es importante mencionar que, al delimitar los escenarios Registrales y Catastrales presentes en el área de estudio, y al considerar los insumos obtenidos del levantamiento fotogramétrico, permiten fotointerpretar algunos usos del suelo que son considerados como posible invasión al área de protección río; en donde al relacionar ambas capas, se logra asociar que algunas de estas zonas consideradas posibles invasiones, se ubican en fincas inscritas a nombre de la Municipalidad, por lo que, dichos usos no conformes con el área de protección están invadiendo áreas públicas consideradas Inalienable e imprescriptibles.

5.2. Conclusiones

Se logra determinar que el 60% del área de protección, se conformó con base en información registral, catastral o de diseño de sitio, generando una base jurídica y registral para velar por su protección.

El 40% del área de protección, se delimito utilizando la metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU.

En cuanto a los escenarios registrales y catastrales, se determinó que el 94% de la conformación del mapa catastral presenta información catastral y registral, mientras que el restante 6% no se logró asociar información registral ni catastral.

Con base en la conformación del mapa catastral y de los escenarios registrarles y catastrales, se logra identificar que el 62% del área que conforma el mapa catastral está inscrito a nombre de privados, un 18% del área está a nombre de la Municipalidad de Curridabat, 13% no contiene el área de protección del río y un 7% no tiene información registral ni catastral asociada.

Al sobreponer los escenarios registrales con el área de protección de río, se logra observar que el 45% del área de protección está conformada por fincas inscritas a nombre de la Municipalidad de Curridabat, un 42% del área de protección está inscrita a nombre de privados, y 13% restante, no tiene información registral ni catastral asociada.

Con base en el levantamiento fotogramétrico, se logra identificar que un 87% de área de protección río presenta un uso conforme con base a la Ley Forestal N° 7575, y un 13% del área de protección de río presenta un uso no conforme, que corresponde a 4921,57 m².

Con respecto al uso no conforme del área de protección de río, se logra identificar que un 84% de este, presenta información registral, catastral y diseños de sitio, en los cuales se fundamentan su

delimitación, y un 16% del uso no conforme del área de protección de río se generó con base en la metodología del INVU.

En cuanto al uso no conforme del área de protección de río María Aguilar, se logra identificar que un 52% está inscrita a nombre de privados, un 46% a nombre de la Municipalidad de Curridabat, y un 2% no presenta información registral ni catastral.

Se logra identificar las áreas que presentan posible invasión al área de protección midiendo un área aproximada de 3969,92 m².

Con respecto a las áreas con posible invasión al área de protección de río, se logra identificar que un 84% presenta información registral, catastral, diseños de sitio en los cuales se fundamentan su delimitación, y un 16% de las áreas con posible invasión al área de protección de río se generó con base en la metodología del INVU.

A partir de la identificación de los sitios que presentan posibles invasiones al área de protección del río María Aguilar, se logra determinar que un 49% está inscrita a nombre de privados, un 49% a nombre de la Municipalidad de Curridabat, y un 2% no presenta información registral ni catastral. Es importante resaltar en cuanto al 49% de los sitios que presentan posibles invasiones al área de protección de río María Aguilar, a nombre de la Municipalidad, se deben a invasiones de terceros a estas áreas pertenecientes al demanio público.

5.3. Recomendaciones.

Es fundamental considerar la definición tanto del terreno quebrado, como del terreno plano, en la aplicación de la metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyo del INVU; ya que ambas definiciones mencionan la pendiente promedio, pero al aplicar dicha metodología se calcula únicamente una pendiente ubicada a 50 metros del margen del río.

Es importante considerar la información Registral y Catastral tanto para la delimitación del área de protección del río, así como para establecer los escenarios registrales presentes en ella.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agisoft LLC. (2014). Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.1.
- Aronoff, S. (1989): Geographic Information Systems: A management perspective. Ottawa, WDL Publications.
- Asamblea Legislativa. (1942). Ley de Aguas (Ley N° 276). San José, Costa Rica. Editorial Investigaciones Jurídicas, S.A
- Asamblea Legislativa. (1968). Ley de Planificación Urbana (Ley N° 4240). San José, Costa Rica. Sistema Costarricense de Información Jurídica.
- Asamblea Legislativa. (1982). Código de Minería (Ley N° 6797). San José, Costa Rica. Editorial Investigaciones Jurídicas, S.A
- Asamblea Legislativa. (1995). Ley Orgánica del Ambiente (Ley N° 7554). San José, Costa Rica. Editorial Investigaciones Jurídicas, S.A.
- Asamblea Legislativa. (1996). Ley Forestal (Ley N° 7575). San José, Costa Rica. Editorial Investigaciones Jurídicas, S.A.
- Asamblea Legislativa. (1999). Ley Reguladora de la Propiedad en Condominio (Ley N° 7933). San José, Costa Rica. Sistema Costarricense de Información Jurídica.
- Asamblea Legislativa. (2010). Ley para la Gestión Integral de Residuos (Ley N° 8839). San José, Costa Rica. Sistema Costarricense de Información Jurídica. Recuperado de: https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=68300&nValor3=83024&strTipM=TC

- Brenes. E. (1997). Gran Area Metropolitana, El transporte, el uso del suelo y la calidad del aire como factores de Desarrollo, Foro: "Seguimiento y permanencia del Modelo de Desarrollo Sostenible en Costa Rica.
- Burrough, P.A. (1986). Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Monographs on Soil and Resources Survey N° 12. Oxford University Press. New York.
- Constitución Política de la República de Costa Rica. (1949). San José, Costa Rica. Sistema Costarricense de Información Jurídica.
- Geonorte Suministros Topográficos. Geomax GNSS Zenith 40. Recuperado el 22 de julio de 2020 de: <https://www.geonorte.es/geomatica/sistemas-gnss/geomax-gnss-zenith-40/>
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. (1982). Plan Regional Desarrollo Urbano Gran Área Metropolitana (GAM) por INVU. Decreto ejecutivo N° 13583 VAH – OFIPLAN. La Gaceta N° 119.
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. (1982). Reglamento para el Control Nacional de Fraccionamientos y Urbanizaciones. Sistema Costarricense de Información Jurídica. Recuperado de: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=50877&nValor3=79277&strTipM=TC
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. (2011). Propuesta Plan de Ordenamiento Territorial de la Gran Área Metropolitana 2011-2030.
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. (2012). Reglamento Plan de Ordenamiento Territorial de la Gran Área Metropolitana 2011-2030.

Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. (2014). Plan GAM 2013-2030 Actualización del Plan Regional de la Gran Área Metropolitana. Decreto ejecutivo No 38334-PLAN-MINAE-MIVAH-MOPT-S-MAG. La Gaceta N° 82.

Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. (2020). Protocolo para el otorgamiento de alineamientos de las áreas de protección según la Ley Forestal N°7575. Alcance N° 146 a la Gaceta N° 144.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (1963). Censo 1963. Población total por zona y sexo según Provincia y Cantón.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2011). Censo 2011. Población total por zona y sexo según Provincia y Cantón.

Jiménez, Roy Allan (2016). El impacto en la ciudad de las comunidades cerradas. Recuperado de: <https://urbe21blog.wordpress.com/2016/08/08/impacto-en-la-ciudad-de-las-comunidades-cerradas/>

Ministerio de Ambiente y Energía. (1995). Reglamento al Código de Minería y reformas (Decreto Ejecutivo No. 29300), San José, Costa Rica, La Gaceta N° 54.

Ministerio de Ambiente y Energía. (1996). Reglamento a la Ley Forestal (Decreto Ejecutivo No. 25721), San José, Costa Rica, La Gaceta N° 16.

Municipalidad de Curridabat. (1990). Plan Regulador Urbano, San José, Costa Rica, La Gaceta N° 215.

Municipalidad de Curridabat. (1993). Reforma al Plan Regulador Urbano, San José, Costa Rica, La Gaceta N° 197.

Municipalidad de Curridabat. (2013). Reforma parcial al Plan Regulador Urbano, San José, Costa Rica, La Gaceta N° 225.

MIVAH; MOPT; MINAE; MIDEPLAN; MINSALUD; INVU; IFAM; CNFL; AYA. (2008).

Tomo I Diagnóstico, Plan Regional Urbano de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica 2008-2030.

National Center for Geographic Information and Analysis (1990). Departamento de Geografía, Universidad, Universidad de California, Santa Bárbara.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo.

(2019). Metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyos, de conformidad con el artículo 33 inciso b) de la Ley Forestal N° 7575 (Versión 1.0).

Poder Ejecutivo. (2005). Reglamento a la Ley Reguladora de la Propiedad en Condominio (Decreto Ejecutivo No. 32303-MIVAH-MEIC-TUR), San José, Costa Rica, Gaceta N° 74.

Poder Judicial. Fiscalía Adjunta Agrario Ambiental Ministerio Público N°6, el delito de invasión de áreas de protección. Recuperado el 29 de julio de 2020 de: <https://ministeriopublico.poder-judicial.go.cr/index.php/disposiciones-fiscalias-adjuntas/category/130-fiscalia-ambiental?download=1483:06-el-delito-de-invasion-de-areas-de-proteccion>

Robinson Mora, Randall y André Sánchez, Philip. (2017). “El régimen jurídico de las aeronaves no tripuladas piloteadas a distancia (drones) en Costa Rica”. Tesis de Licenciatura en Derecho, Facultad de Derecho. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Tajadura, Raúl del Barrio. (2017). “Uso de Drones en la Inspección para la Rehabilitación del Patrimonio. Iglesia de la Merced”. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Superior. Universidad de Burgos. Burgos, España.

Tribunal de Casación Penal, Segundo Circuito Judicial de San José. Goicoechea. (2003). Voto N° 0713-2003.

Valdés Torres, Mario. (2010). Las áreas de protección del artículo 33 de la Ley Forestal: El caso de la quebrada Los Negritos en el sector de Montes de Oca. Tesis de Licenciatura en Derecho, Facultad de Derecho. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Vaughan, Christopher. (1983). La importancia de la protección de las cuencas hidrográficas en Costa Rica. Antología Conservación del Medio. San José, Costa Rica. Euned.

ANEXOS

Anexo 1. Se logran relacionar 112 expedientes análogos.

| CODIGOSIG | Sector | Bloque | Predio | Bloque |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 664028001 | 664028 | 028 | 001 | 28 |
| 6640280B1 | 664028 | 028 | 0B1 | |
| 664029001 | 664029 | 029 | 001 | 29 |
| 66402901A | 664029 | 029 | 01A | |
| 664029002 | 664029 | 029 | 002 | |
| 664029003 | 664029 | 029 | 003 | |
| 664029004 | 664029 | 029 | 004 | |
| 664029005 | 664029 | 029 | 005 | |
| 664029018 | 664029 | 029 | 018 | |
| 66402918A | 664029 | 029 | 18A | |
| 664029019 | 664029 | 029 | 019 | |
| 664029027 | 664029 | 029 | 027 | |
| 620031001 | 620031 | 031 | 001 | |
| 6200311-1 | 620031 | 031 | 1-1 | |
| 620031002 | 620031 | 031 | 002 | |
| 620031004 | 620031 | 031 | 004 | |
| 620031005 | 620031 | 031 | 005 | |
| 6620331-1 | 662033 | 033 | 1-1 | 33 |
| 6620331-2 | 662033 | 033 | 1-2 | |
| 6620331-3 | 662033 | 033 | 1-3 | |
| 6620331-4 | 662033 | 033 | 1-4 | |
| 6620331-5 | 662033 | 033 | 1-5 | |
| 6620331-6 | 662033 | 033 | 1-6 | |
| 6620331-7 | 662033 | 033 | 1-7 | |
| 66432B001 | 66432B | 32B | 001 | 32B |
| 66432B0A1 | 66432B | 32B | 0A1 | |

| CODIGOSIG | Sector | Bloque | Predio | Bloque |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 66432B02A | 66432B | 32B | 02A | |
| 66432B02B | 66432B | 32B | 02B | |
| 66432B02C | 66432B | 32B | 02C | |
| 66432B02D | 66432B | 32B | 02D | |
| 66432B12-1 | 66432B | 32B | 12-1 | |
| 66432B12-2 | 66432B | 32B | 12-2 | |
| 66432B12-3 | 66432B | 32B | 12-3 | |
| 66432B12-4 | 66432B | 32B | 12-4 | |
| 66432B12-5 | 66432B | 32B | 12-5 | |
| 66432B12-6 | 66432B | 32B | 12-6 | |
| 66432B13-1 | 66432B | 32B | 13-1 | |
| 66432B13-2 | 66432B | 32B | 13-2 | |
| 66432B13-3 | 66432B | 32B | 13-3 | |
| 66432B13-4 | 66432B | 32B | 13-4 | |
| 66432B13-5 | 66432B | 32B | 13-5 | |
| 66432B13-6 | 66432B | 32B | 13-6 | |
| 66432B020 | 66432B | 32B | 020 | |
| 66432B21-1 | 66432B | 32B | 21-1 | |
| 66432B21-2 | 66432B | 32B | 21-2 | |
| 66432B21-3 | 66432B | 32B | 21-3 | |
| 66432B21-4 | 66432B | 32B | 21-4 | |
| 66432B21-5 | 66432B | 32B | 21-5 | |
| 66432B21-6 | 66432B | 32B | 21-6 | |
| 66432B21-7 | 66432B | 32B | 21-7 | |
| 66432B21-8 | 66432B | 32B | 21-8 | |
| 66432B21-9 | 66432B | 32B | 21-9 | |
| 66432B21-10 | 66432B | 32B | 21-10 | |
| 66432B21-11 | 66432B | 32B | 21-11 | |
| 66432B21-12 | 66432B | 32B | 21-12 | |

| CODIGOSIG | Sector | Bloque | Predio | Bloque |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 66432B21-13 | 66432B | 32B | 21-13 | |
| 66432B21-14 | 66432B | 32B | 21-14 | |
| 66432B21-15 | 66432B | 32B | 21-15 | |
| 66432B21-16 | 66432B | 32B | 21-16 | |
| 66432B21-17 | 66432B | 32B | 21-17 | |
| 66432B21-18 | 66432B | 32B | 21-18 | |
| 66432B21-19 | 66432B | 32B | 21-19 | |
| 66432B21-20 | 66432B | 32B | 21-20 | |
| 66432B21-21 | 66432B | 32B | 21-21 | |
| 66432B21-22 | 66432B | 32B | 21-22 | |
| 66432B25-1 | 66432B | 32B | 25-1 | |
| 66432B25-2 | 66432B | 32B | 25-2 | |
| 66432B25-3 | 66432B | 32B | 25-3 | |
| 66432B033 | 66432B | 32B | 033 | |
| 66432B034 | 66432B | 32B | 034 | |
| 66432B036 | 66432B | 32B | 036 | |
| 66432B038 | 66432B | 32B | 038 | |
| 66432B039 | 66432B | 32B | 039 | |
| 66432B040 | 66432B | 32B | 040 | |
| 66432B42-1 | 66432B | 32B | 42-1 | |
| 66432B42-2 | 66432B | 32B | 42-2 | |
| 66432B42-3 | 66432B | 32B | 42-3 | |
| 66432B42-4 | 66432B | 32B | 42-4 | |
| 66432B42-5 | 66432B | 32B | 42-5 | |
| 66432B42-6 | 66432B | 32B | 42-6 | |
| 66432B43-1 | 66432B | 32B | 43-1 | |
| 66432B43-2 | 66432B | 32B | 43-2 | |
| 66432B044 | 66432B | 32B | 044 | |
| 66432B45-1 | 66432B | 32B | 45-1 | |

| CODIGOSIG | Sector | Bloque | Predio | Bloque |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 66432B45-2 | 66432B | 32B | 45-2 | |
| 66432B45-3 | 66432B | 32B | 45-3 | |
| 66432B45-4 | 66432B | 32B | 45-4 | |
| 66432B45-5 | 66432B | 32B | 45-5 | |
| 66432B45-6 | 66432B | 32B | 45-6 | |
| 66432B49-1 | 66432B | 32B | 49-1 | |
| 66432B49-2 | 66432B | 32B | 49-2 | |
| 66432B50-1 | 66432B | 32B | 50-1 | |
| 66432B50-2 | 66432B | 32B | 50-2 | |
| 66432B051 | 66432B | 32B | 051 | |
| 66432B52-1 | 66432B | 32B | 52-1 | |
| 66432B52-2 | 66432B | 32B | 52-2 | |
| 66432B52-3 | 66432B | 32B | 52-3 | |
| 66432B52-4 | 66432B | 32B | 52-4 | |
| 66432B52-5 | 66432B | 32B | 52-5 | |
| 66432B52-6 | 66432B | 32B | 52-6 | |
| 66432B064 | 66432B | 32B | 064 | |
| 66432C002 | 66432C | 32C | 002 | |
| 66432C010 | 66432C | 32C | 010 | |
| 66432C011 | 66432C | 32C | 011 | |
| 66432C012 | 66432C | 32C | 012 | |
| 66432C13-1 | 66432C | 32C | 13-1 | |
| 66432C13-2 | 66432C | 32C | 13-2 | 32C |
| 66432C13-3 | 66432C | 32C | 13-3 | |
| 66432C13-4 | 66432C | 32C | 13-4 | |
| 66432C014 | 66432C | 32C | 014 | |
| 66432C030 | 66432C | 32C | 030 | |
| 66432C031 | 66432C | 32C | 031 | |