

DOI: 10.25100/eg.v0i24.11905
Espacios y Territorios

Implementación de tecnologías geoespaciales en la ciudad universitaria Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica como insumos para el ordenamiento territorial del campus

Implementation of geospatial technologies in the Rodrigo Facio university city of the university of Costa Rica for the territorial management of the campus

Implementação de tecnologias geoespaciais na cidade universitária Rodrigo Facio da Universidade da Costa Rica como subsídios para o ordenamento territorial do campus

Melvin A. Lizano Araya

M.Sc. Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica. Montes de Oca, Costa Rica.
melvin.lizanoaraya@ucr.ac.cr | 0000-0003-3437-3502

Ramón Masís Campos

M.Sc. Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Montes de Oca.
ramon.masiscampos@ucr.ac.cr | 0000-0001-5808-3265

Para citar este artículo: Lizano, M., y Masís, R. (2022). Implementación de tecnologías geoespaciales en la ciudad universitaria Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica como insumos para el ordenamiento territorial del campus. *Entorno Geográfico*, (24), e20911905. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i24.11905>

Resumen

Se realiza un levantamiento de activos correspondientes al campus Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica de varios elementos como: luminarias, pasos peatonales, señalización, alarmas, cámaras entre otros. Para esto se trabajó utilizando software y aplicaciones libres y de código abierto como QGIS y Qfield que permitió un ahorro económico para la casa de enseñanza en el desarrollo e implementación del proyecto. Adicionalmente se realiza el barrido de más de 90 ha, utilizando para ello sistemas de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS) con el fin de generar la ortofotografía corregida geométricamente que permita realizar el levantamiento y corroboración del uso de la tierra al momento de la toma con miras a la obtención de la cartografía adecuada para el uso en la



Esta obra está bajo licencia internacional [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

elaboración del Plan de Ordenamiento Territorial de las cuatro fincas que componen la Sede Rodrigo Facio.

Palabras claves: tecnologías, geoespaciales, campus, universidades y ordenamiento territorial

Abstract

A survey of assets corresponding to the Rodrigo Facio campus of the University of Costa Rica was carried out for various elements such as: lighting, crosswalks, signaling, alarms, cameras, among others. For this we worked using free and open source software and applications such as QGIS and Qfield, which allowed economic savings for the university in the development and implementation of the project. Additionally, more than 90 HA were swept using remotely piloted aircraft systems (RPAS) in order to generate geometrically corrected orthophotography that allows the survey and corroboration of the land use at the time of the shot with a view to obtaining the appropriate cartography for use in the development of the Land Management Plan of the four farms that make up the Rodrigo Facio Headquarters.

Keywords: technologies, geospatial, campuses, universities and land use planning

Resumo

Foi realizado um levantamento de ativos pertencentes ao campus Rodrigo Facio da Universidade da Costa Rica, incluindo diversos elementos como: luminárias, passagens de pedestres, sinalização, alarmes, câmeras, entre outros. Para isso, utilizou-se softwares e aplicativos livres e de código aberto, como o QGIS e o QField, o que representou uma economia para a instituição de ensino no desenvolvimento e implementação do projeto.

Adicionalmente, foi realizado um mapeamento de mais de 90 hectares com o uso de sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS), com o objetivo de gerar uma ortofotografia corrigida geometricamente que permitisse o levantamento e a verificação do uso do solo no momento da captura, visando à obtenção de cartografia adequada para a elaboração do Plano de Ordenamento Territorial das quatro propriedades que compõem a Sede Rodrigo Facio.

Palavras-chave: tecnologias, geoespaciais, campus, universidades e ordenamento territorial

Recibido: 25 de enero de 2022

Aceptado: 04 de marzo de 2022

Publicado: 1 de julio de 2022

1. Introducción

A pesar de que su fundación fue en 1940, la Universidad de Costa Rica (UCR) se trasladó gradualmente del barrio capitalino González Lahmann a la ciudad universitaria en el cantón Montes de Oca hasta aproximadamente 1956. En 1962 el reciente campus fue nombrado la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio (Arias, 2020).

El campus está constituido por facultades, escuelas, bibliotecas, residencias estudiantiles, oficinas de administración, parqueos, cafeterías, áreas deportivas, jardines, zonas verdes, Centros de Investigación, entre otros. Semejante a otros 10 centros de educación superior en América Latina que se construyeron entre 1935 y 1960 (Fino, 2018), estas ciudades universitarias se diseñaron y construyeron de manera armónica para hacer vida universitaria de calidad. Al mismo tiempo, este modelo de desarrollo urbano se convertía en un espacio de experimentación que podría replicarse en urbes convencionales.

Más de 65 años desde su establecimiento, la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio ha sufrido transformaciones territoriales e ingenieriles para satisfacer las obligaciones en docencia, investigación y acción social, para convertirse hoy día en la mejor universidad de América Central y el Caribe (Castro, 2020).

En el último quinquenio de 2015-2020 mediante una inversión millonaria por encima de los \$18500 dólares, por medio de recursos propios y créditos del Banco Mundial, las fincas universitarias y las sedes han sufrido cambios significativos en el uso de la tierra por la construcción de nuevas edificaciones e infraestructura (Burgos, 2018). En este periodo, en la sede Rodrigo Facio se construyeron edificios (figura 1) como: la Facultad de Ciencias Sociales, la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Derecho, la Plaza Autonomía, la Facultad de Ciencias, laboratorios, centros de investigación, edificios para parqueos, oficinas, residencias estudiantiles, bibliotecas. Incluso hubo para algunas remodelaciones y obras intermedias en otras obras existentes.

Figura 1. Edificios académicos y administrativos en finca 2, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.



Fuente: Elaboración propia, 2021

2. Marco teórico y conceptual

Consecuentemente, el impacto territorial del desarrollo de la ciudad universitaria ha demandado conocimiento e información geográfica vigente y altamente accesible para la administración universitaria, con el fin de fomentar un efecto positivo en el centro de educación superior. Esto debido a la creación de la Comisión Institucional de Ordenamiento Territorial de la UCR, que requiere un instrumento de planificación local a partir de un conjunto de planos, mapas actualizados, reglamentos y documentos técnicos para la implementación de una política de desarrollo del campus universitario en temas como: usos de la tierra, vías de circulación, servicios públicos, obras de construcción, conservación de biodiversidad y mantenimiento de área verdes, recreativas, deportivas, entre otras necesidades.

Hoy día, existen tecnologías geoespaciales aplicadas al análisis y apoyo a la ordenación territorial como: los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS, abreviatura en inglés), los Sistemas Globales de Navegación Satelital (GNSS, abreviatura en inglés). Estas tecnologías se han aplicado y documentado en campus alrededor del mundo.

Tal es el caso de Abbas y Arigbede (2012), quienes mapean el uso de la tierra de la Universidad Ahmadu Bello (Nigeria) a partir de una imagen satelital de alta resolución y el uso de software SIG. Dentro de los resultados se cartografió 2133 ha y se identificó la relevancia acerca del manejo de información espacial para la gestión ambiental y territorial del campus.

Del mismo modo en Jordania, Al-Rawabdeh y otros (2014) implementaron un mapeo en tres dimensiones del campus de la Universidad Al al-Bayt. Este centro de educación superior se extiende por un poco más de 7 km² donde se distribuyen facultades, museos, jardines, parques, instalaciones deportivas, mezquitas, puentes y otros tipos de infraestructuras. La aplicación tomó los planos, y archivos en diseño asistido por computadora y SIG para adquirir la información, así como modelar y visualizar el área de estudio en modo tridimensional. Este estudio fue desarrollado con el fin de evaluar el potencial de la herramienta para resolver los problemas que enfrentan las ciudades modernas.

También en la Universidad King Fahd de Petróleo y Minerales en Arabia Saudita Arabia, los investigadores Alshuwaikhat y otros (2017) integraron la dimensión geográfica en la evaluación de la sostenibilidad del campus facilitando la recopilación y medición de indicadores relacionados entre sí: consumo de energía eléctrica, generación de residuos, consumo de agua y transporte, ayuda a identificar los puntos críticos de las operaciones del campus y proporciona una mejor visualización de la condición existente y el escenario futuro del estado de sostenibilidad ambiental del campus.

Se tienen casos de estudio en esta línea, por ejemplo, el de Badillo (2017) mediante su trabajo final de graduación diseñó e implementó un SIG en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Colombia con el fin de reglamentar la organización espacial, el uso y

administración de los espacios para el óptimo funcionamiento de la infraestructura universitaria.

En Medellín, en la Universidad de EAFIT, la estudiante Usuga (2017), realizó su proyecto de graduación acerca del desarrollo de un sistema de información geográfica para su casa de enseñanza, para aportar a la gestión ambiental y a la gestión de espacios físicos, por medio de un inventario de indicadores medioambientales que reflejen los resultados de los programas ambientales de la universidad, especialmente la gestión del agua, energía, disminución de residuos, movilidad, transporte, diseño y ordenamiento de construcciones sostenibles.

Análogamente Cardoza y Marín (2019) implementó los Sistemas de información geográfica y el modelo de información de edificación (BIM) para derivar una base de datos espacial para la Universidad de Ibagué en Colombia y tiene como fin satisfacer necesidades en la planificación de nuevos espacios y ayudar a crear plataformas en las que se pueda visualizar la información geoespacial.

En esta región continental, Flores y otros (2015) mediante la aplicación de sistemas de información geográfica libres y por medio RPAS dotaron una infraestructura de datos espaciales para la Universidad Nacional del Este en Paraguay. Esto con el fin de constituir un instrumento para la administración y el análisis de datos espaciales para las autoridades universitarias.

En otros contextos geográficos, Benedito y otros (2013) realizaron un visor basado en mapas web que permite localizar áreas de interés y consultar información útil sobre facultades, espacios verdes, y otros elementos geográficos de la Universitat Jaume I de Castelló en España con diversos dispositivos tecnológicos.

Finalmente, Muthukrishnan y Winiski (2016) en el Encuentro Anual de la *Association of American Geographers* expusieron la experiencia acerca de las capacidades tecnológicas de los RPAS para varias iniciativas de sostenibilidad y seguridad en *Furman University*, Carolina del Sur. Utilizando la combinación de estas herramientas con sistemas de información geográfica les permitió mapear con precisión la red de riego en las canchas de

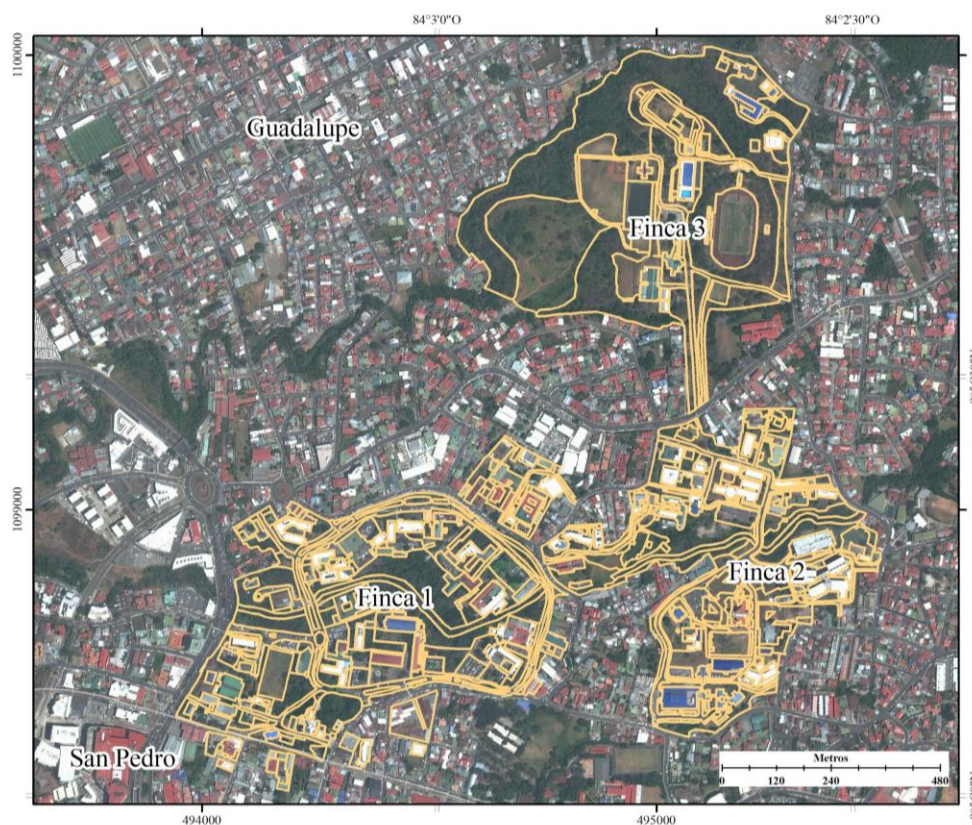
fútbol y las ubicaciones de los postes de luz del campus. Además, concluyen que la información recopilada juega un papel relevante para ayudar a tomar decisiones más inteligentes de los espacios administrados por esta universidad.

3. Área de estudio

La Ciudad Universitaria Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica se ubica a 4 km al este de la capital San José en el cantón Montes de Oca (figura 2). El campus se localiza aproximadamente en las coordenadas geográficas 9°56'13.9"N 84°03'03.8"W.

La UCR tiene tres fincas principales: la Finca 1, donde se localizan la Rectoría, Vicerrectorías, facultades (Educación, Artes, Letras, Derecho, Medicina, Agronomía), las principales bibliotecas y oficinas administrativas en un área de 35,54 ha.

Figura 2. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica



uente: Elaboración propia, 2021.

La Ciudad de la Investigación o Finca 2 se extiende 25,53 ha. Tradicionalmente aloja un conglomerado de centros, institutos y laboratorios de investigación, pero en el último lustro es la sede de las Facultades de Ciencias Sociales, Ingenierías, Ciencias Básicas, además de dos edificios de parqueos. Y la Finca 3 que se especializa en las instalaciones deportivas, constituidas por gimnasios, piscinas, canchas multiusos, áreas verdes, el Estadio Ecológico, la Escuela de Educación Física y Deportes, junto con la Oficina de Suministros, Transportes, el Archivo Universitario y el reciente inmueble de la Facultad de Odontología, en una finca de 33,87 ha.

En 2019, la comunidad universitaria de la Sede Rodrigo Facio tenía matriculados 32804 estudiantes, asimismo 6568 funcionarios docentes y administrativos para realizar las actividades sustantivas en la Universidad de Costa Rica (OPLAU, 2019). Es decir, casi 40000 personas circulan semanalmente en un campus de 90,5 ha en el cantón de Montes de Oca para recibir clases, investigar, trabajar la acción social o la gestión administrativa.

Es importante mencionar que la UCR fuera de Montes de Oca tiene 11 sedes y recintos distribuidos a nivel nacional en los cantones de San Ramón, Grecia, Alajuela, Liberia, Santa Cruz, Puntarenas, Golfito, Limón, Pococí, Turrialba y Paraíso, que no fueron considerados en este estudio.

4. Métodos

Esta investigación fue aplicada y tecnológica. Se planteó un marco metodológico que comprendió las siguientes fases: la elaboración de un mosaico de ortofotos de alta resolución espacial del campus mediante sistemas de aeronaves pilotadas a distancia y la fotogrametría digital, asimismo por medio del trabajo de campo se hizo el levantamiento de datos geográficos, seguidamente se procesó e integró las fuentes de datos con software de sistemas de información geográfica libre y de código abierto como QGIS y QField, también se elaboraron mapas temáticos, además se extrajeron las estadísticas territoriales de la Sede Rodrigo Facio.

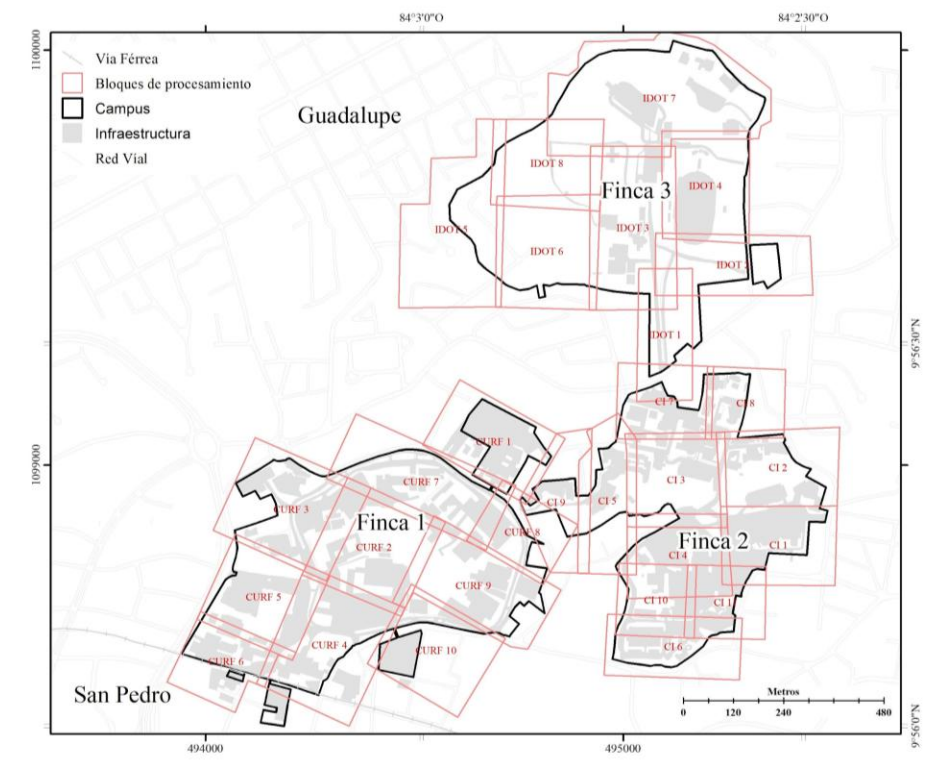
Obtención del mosaico de ortofotos del campus

Se planificaron y ejecutaron vuelos en un área extendida al campus de la UCR (figura 3). Se utilizó un RPAS liviano, una aeronave DJI Inspire 2 con una cámara banda visible Zenmuse X4S. Para el diseño de las misiones se empleó la aplicación DJI GS Pro (Ground Station Pro) en una tableta IPAD Mini con los parámetros fijos a una altitud de vuelo de 150 metros, con un traslape de un 80% y un ángulo de captura de 90°.

En campo mediante un receptor GNSS Trimble Geo7x de precisión centimétrica hasta milimétrica se adquirieron los puntos de control distribuidos y necesarios para el proyecto, estos tuvieron correcciones de posicionamiento mediante la técnica *Post Processed Kinematic* (PPK) utilizando el software *Pathfinder Office*.

La fotogrametría se realizó con el software *Agisoft PhotoScan* para derivar modelos de elevación de superficies y ortofotos de alta resolución espacial que se exportan para trabajar en el software QGIS.

Figura 3. Distribución de bloques de procesamiento fotogramétrico del campus, 2018.

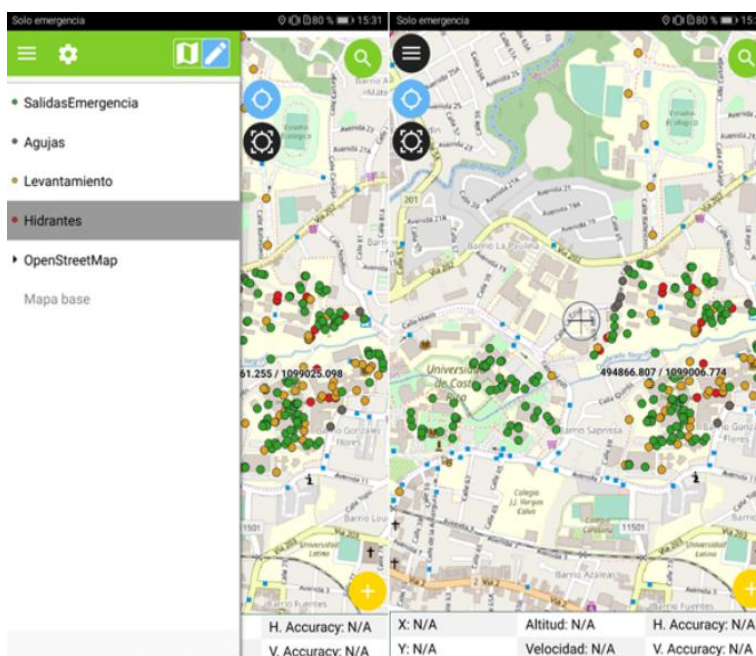


Fuente: Elaboración propia, 2021

Levantamiento de datos geográficos en campo

Se diseñó un almacén de datos en formato *Geopackage* en QGIS, con entidades geográficas cuya geometría es de tipo puntual para el levantamiento de datos. El propósito de realizar lo anterior, fue recopilar la información de activos universitarios a través de la aplicación para dispositivos inteligentes Qfield (figura 4). Se recopilaron variables como: agujas, bancas, cafeterías, alarmas, cámaras de seguridad, teléfonos, centros de transferencia de desechos, cicloparqueos, circuitos biosaludables, hidrantes, luminarias, señalizaciones verticales entre otras de las fincas universitarias ya mencionadas.

Figura 4. Interfaz de la aplicación Qfield para el levantamiento de datos sobre activos universitarios.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Procesamiento de información geográfica

Mediante el software de QGIS versión 3.18, se tomaron los archivos de ortofotos, modelos de superficie de terreno y los datos vectoriales dentro del *Geopackage* para editar, depurar e

integrar la información geográfica. Además, se realizó la fotointerpretación, la digitalización de usos de la tierra y se ajustó la ubicación de los activos universitarios sobre las ortofotos. Otro de los productos obtenidos fueron mapas temáticos y se estimaron las estadísticas territoriales sobre el estado del campus (2018-2019) para el uso en la formulación del Plan de Ordenamiento Territorial del campus universitario.

5. Resultados

Mosaico de ortofoto de la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

En la actualidad la fotogrametría aérea se ha enriquecido con tecnologías, técnicas y métodos digitales muy impulsados por el avance de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia, los sensores de captura de información geográfica de manera programada y el desarrollo de software más especializado. El levantamiento de fotos aéreas capturó 6138 imágenes (tabla 1), el Inspire 2 contaba con una cámara con una distancia focal de 8,8 mm y una resolución de 5472 x 3648 píxeles por imagen. Paralelamente el levantamiento de datos se complementa con la captura de 83 puntos de control terrestre en el campus, como el que se demuestra en la figura 5.

Figura 5. Levantamiento de punto de control terrestre con equipo GNSS en la Finca 2.



Fuente: Elaboración propia, 2021

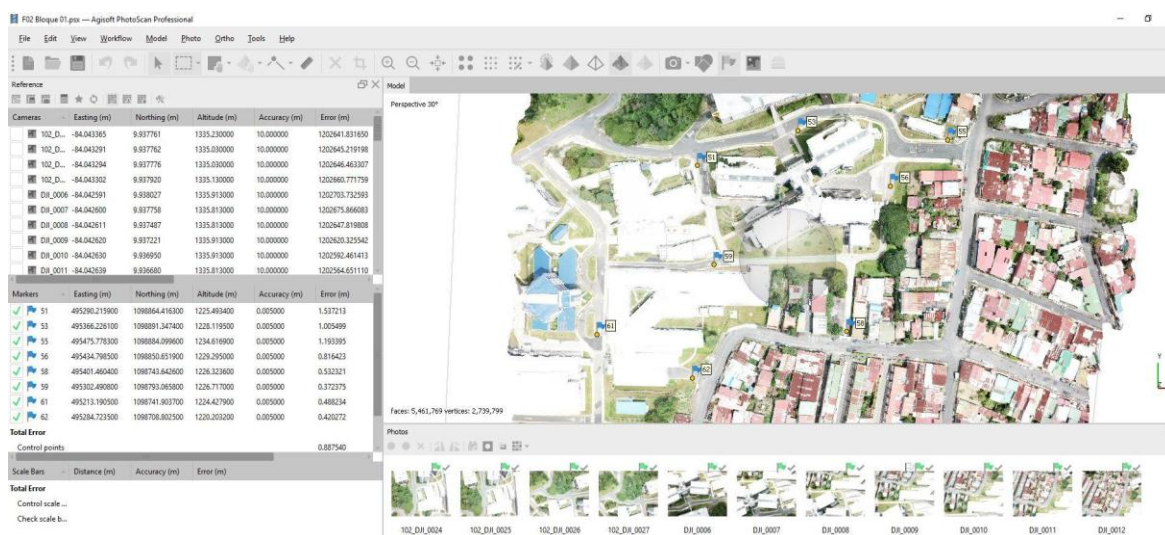
Tabla 1. Síntesis del levantamiento de vuelos con RPAS y puntos de control terrestre en el área de estudio.

Finca	Total de vuelos programados	Total de fotos capturadas	Total de puntos de control terrestre
1	3	703	34
2	11	2707	29
3	8	2728	20

Fuente: Elaboración propia.

En el software de procesamiento Agisoft Photoscan (figura 6) se inició el proyecto con la carga de las imágenes, se ajustaron los parámetros y se ingresaron los puntos de control terrestre en un flujo de trabajo que considera el alineamiento automático del conjunto de imágenes digitales, la generación de la nube dispersa, la nube densa de puntos y la producción del modelo digital de elevaciones y del ortomosaico. Como se muestra en la tabla 2.

Figura 6. Procesamiento con el software Agisoft Photoscan.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla 2. Síntesis del flujo de trabajo de la fotogrametría digital.

Proceso	Definición de parámetros
1. Alineación de fotos	• Precisión: Alta • Preselección: Sí • Referencia: Sí
2. Optimizado de la alineación	• Corrección por puntos de control • Optimizado adaptativo
3. Nube de puntos densa	• Calidad: Alta • Método de filtrado: Agresivo
4. Malla	• Datos fuente: Nube de puntos densa • Tipo de superficie: Arbitraria • Calidad del mapa de profundidad: Alta • Conteo de caras de superficie: Alta • Interpolación: Activa
5. Textura	• Modo de mapeo: Ortofoto • Fuente de la textura: Todas las cámaras • Modo de apilado: Mosaico • Tamaño: 4096 • Conteo de textura: 1
6. Modelo digital de elevaciones	• Datos fuente: Nube densa • Interpolación: Activa • Sistema de referencia: CRTM05 (EPSG 5367)
7. Ortomosaico	• Datos fuente: Malla • Modo de apilado: Mosaico • Rellenado: Sí • Sistema de referencia: CRTM05 (EPSG 5367)
8. Exportación	• Sistema de referencia: CRTM05 (EPSG 5367)

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con el flujo de trabajo establecido en el programa Agisoft.

Luego del procesamiento inicial de las fotografías y en el proceso que conlleva incluir los puntos de control a lo largo de las imágenes se logró obtener una precisión de 5 cm a nivel planimétrico lo que origina un producto de alta precisión para la generación de los productos cartográficos requeridos en el Plan de Ordenamiento Territorial de la Universidad.

Adicionalmente el tamaño de píxel es de 4 cm lo que permite observar prácticamente cualquier elemento que sea mayor a esas dimensiones. Una vista de la ortofoto se puede observar en la figura 7.

Mapeo de activos universitarios en el campus

En la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio existe un equipamiento y mobiliario público que se distribuyen en las afueras de los edificios, zonas verdes, sobre las vías vehiculares o peatonales para el uso y disfrute de la calidad de vida, la seguridad de la comunidad universitaria y público en general. Entre los activos universitarios se identifica a la iluminación, hidrantes, alarmas, cámaras de seguridad, mobiliario como: bancas, mesas, circuitos biosaludables, biciparqueos, entre otros.

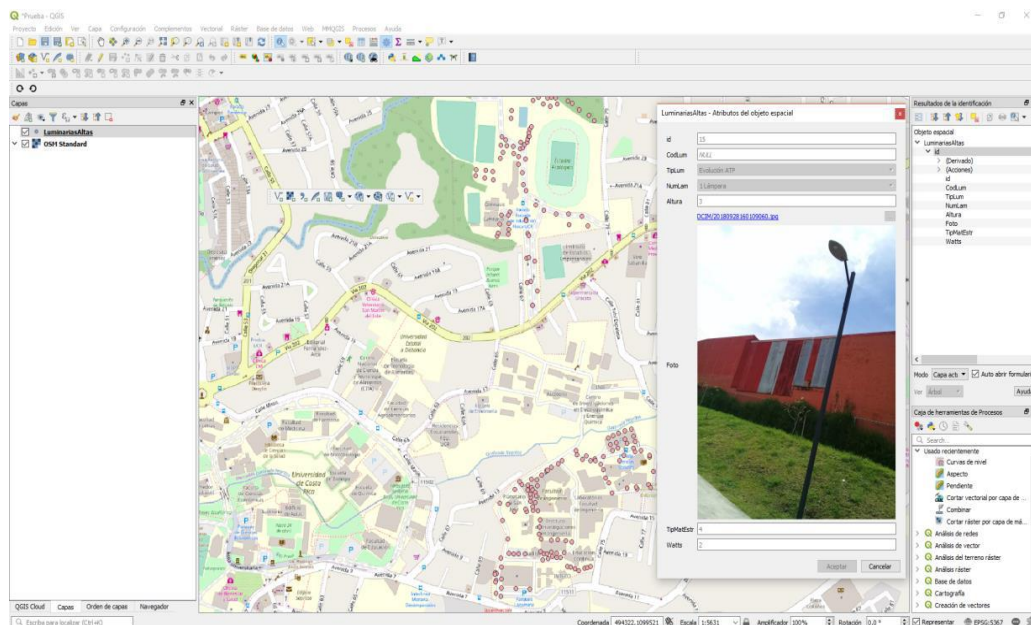
Por medio de una campaña de levantamiento de datos con estudiantes de la carrera de Geografía, se realizó el recorrido por las 3 fincas con la aplicación móvil Qfield en el campo y con el software de escritorio QGIS (figura 8) se descargó y procesó la información geoespacial (integración de información vectorial, adjuntos fotográficos, edición, depuración de vectores y tablas, elaboración de metadatos y mapas) con el fin de que la casa de estudios cuente con el inventario de activos debidamente actualizado y que sirva para la gestión y administración de los espacios por parte de las autoridades universitarias.

Figura 7. Ortofoto de la Facultad de Ciencias Sociales, Finca 2 para uso en la definición del Plan de Ordenamiento Territorial.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura 8. Interfaz de QGIS para el procesamiento de datos sobre activos universitarios.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

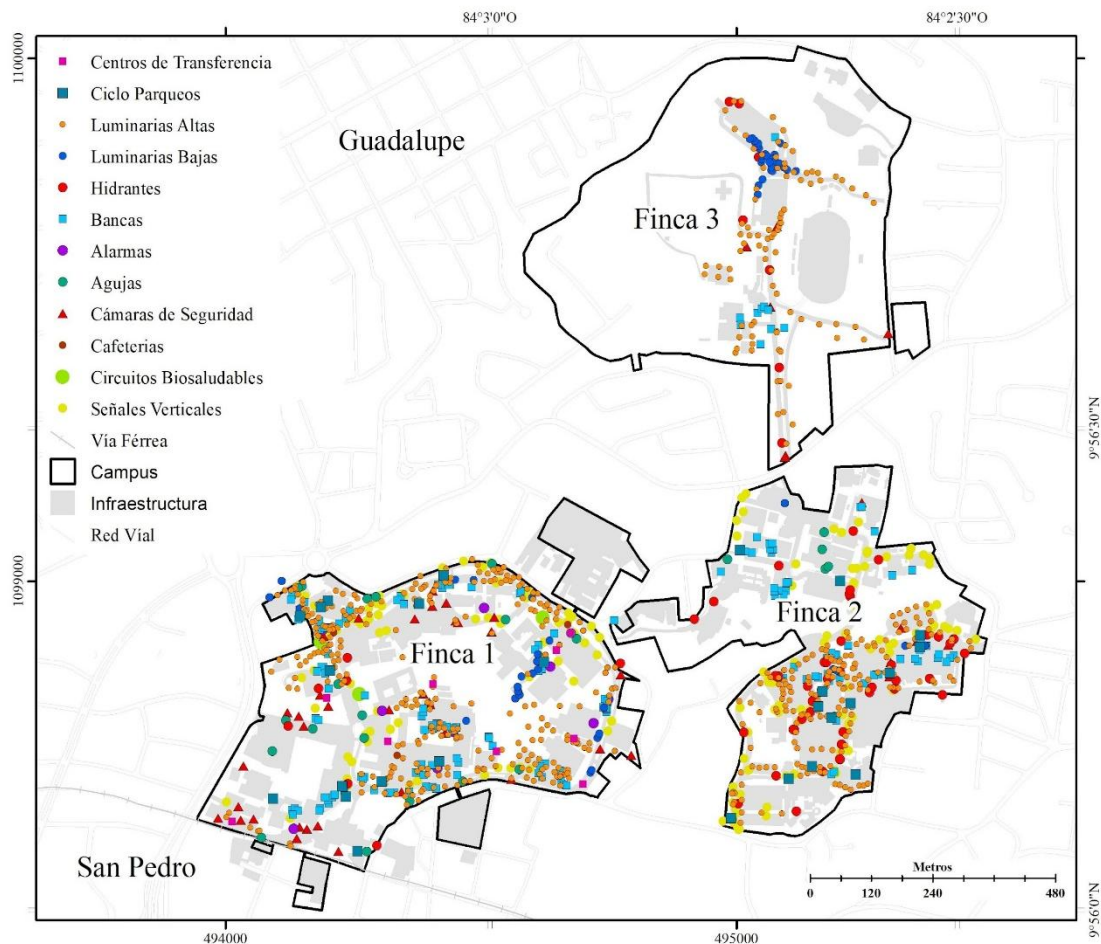
Dentro de los resultados obtenidos se mapearon 1601 activos universitarios en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio (figura 9). El 40,2% corresponde con luminarias altas que son activos muy valorados en la seguridad en las vías vehiculares y peatonales. Estas se complementan con las luminarias bajas con un 9,6% de los registros.

La señalización vertical con 199 puntos en los campus equivalentes al 12,4% de los datos recolectados. Estos activos son relevantes para la regulación, el orden e información del flujo vehicular y peatonal en las fincas universitarias. También están demarcados 15 pasos peatonales (0,9%) para seguridad de la comunidad universitaria.

Las cámaras se localizan de manera estratégica en el campus, en total son 66 (4,1%) dispositivos tecnológicos, a su vez 9 alarmas (0,6%) complementan estos sistemas de seguridad, la mayor cantidad la tenemos en finca 1 con el 22.72%. Así mismo, en los temas relacionados con la gestión de riesgo (ante sismos e incendios) el campus cuenta con 35 hidrantes (2,2%), 103 agujas de seguridad (6,4%) y 55 salidas de emergencia (3,4%).

También se registraron 253 bancas en los campus equivalentes al 15,8% del levantamiento. En finca 1 se concentra el 73.10%% de las bancas, en finca 2 se tiene el 22.68% y finalmente finca 3 es el lugar donde menos bancas hay disponibles para un total del 4.20% para el uso por la comunidad universitaria o el público en general.

Figura 9. Mapeo de los activos universitarios en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Los biciparquesos son estacionamientos razonados en el marco de las políticas de una movilidad y transporte sostenible en la ciudad universitaria. Actualmente hay 33 biciparquesos (2,1% del total de activos levantados), la ubicación de estos activos toma en cuenta aspectos como cercanía a facultades y seguridad.

Asimismo, para iniciar a incentivar la promoción de la salud en las fincas universitarias, la Oficina de Servicios Generales (OSG) inició la colocación de 4 circuitos biosaludables para realizar ejercicios físicos y como espacios recreativos, todos en la finca 1. Por otro lado, para la gestión de desechos sólidos el campus dispone de 9 centros de transferencia (0,6% con respecto al total de activos universitarios levantados) para el sistema de clasificación de materiales reciclables y otro tipo de desechos generados en los edificios presentes en cada finca.

Mapa del uso de la tierra de la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

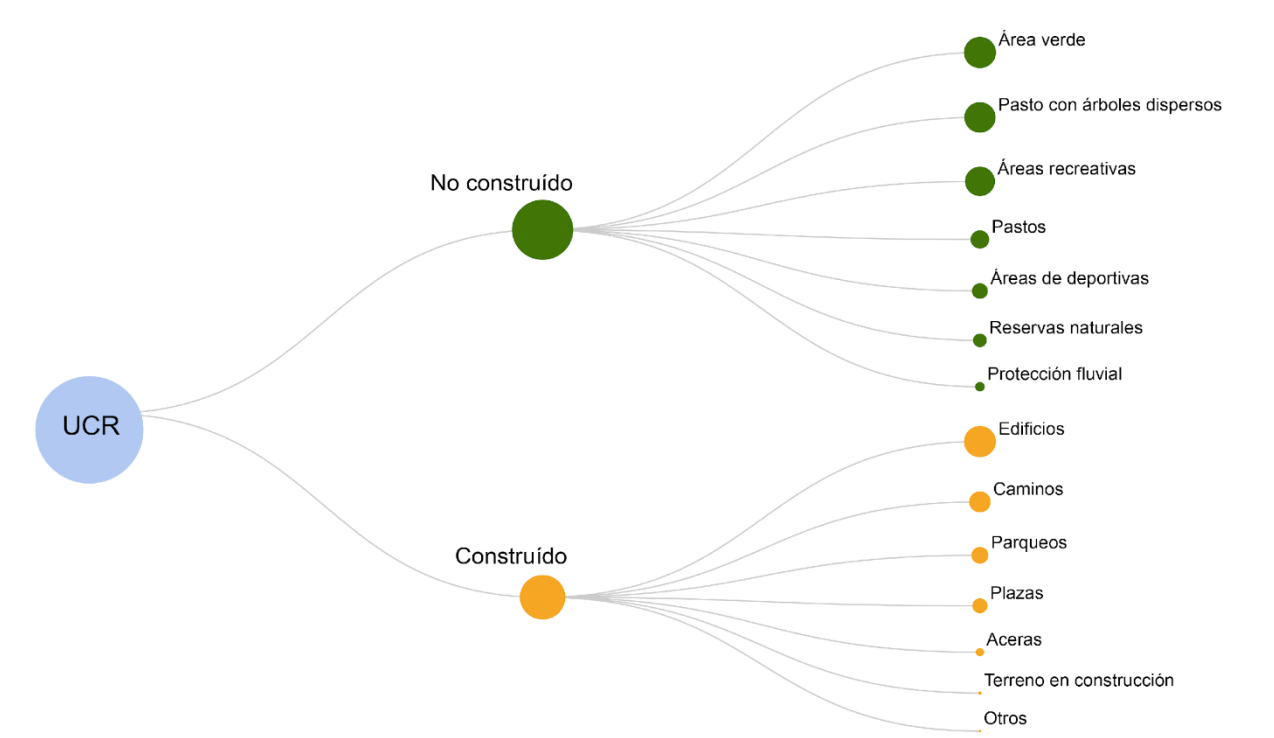
El mapa de uso de la tierra es uno de los principales insumos para el ordenamiento territorial del Campus Rodrigo Facio, porque permite la toma de decisiones de manera estratégica en función de ubicación, distribución y desarrollo de actividades institucionales con relación al aprovechamiento del recurso territorial que posee. Al mismo tiempo, los datos geográficos facilitan la identificación, la delimitación, la vocación y la demanda de los recursos administrados en el campus. Además, que marca las pautas para espacios con restricciones y regímenes de protección o restauración.

La Ciudad Universitaria Rodrigo Facio tiene casi 95 hectáreas que han sido desarrolladas por décadas para una diversidad de usos institucionales (figura 10) y generan una dicotomía y una lucha por un equilibrio entre espacios construidos y no construidos en el campus.

Los espacios no construidos en la UCR son aproximadamente 54 ha, están compuestos por áreas verdes (estas contemplan espacios con césped, jardines, pastizales), áreas recreativas (abiertas al público y con algún mobiliario para uso público como: bancas, circuitos biosaludables, entre otros), deportivas abiertas, reservas naturales y de protección fluvial a nivel local y cantonal.

Las áreas verdes es el uso más extenso con el 43,44 ha en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio y están presentes en las fincas con la presencia de jardines, césped, pastos, plantas ornamentales, árboles frutales, nativos o introducidos y embellecen el recorrido por el campus universitario.

Figura 10. Usos de la tierra en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.



Fuente: Elaboración propia, 2021

De la misma manera, el campus posee 3,48 ha para la conservación y restauración de relictos propios de la biodiversidad asociada al bosque premontano húmedo en la Reserva Ecológica, el Jardín Botánico José María Orozco y la Reserva Leonel Oviedo en la finca 1, entre otros parches boscosos en finca 2 y 3. Paralelamente la quebrada Los Negritos fluye por las fincas 2 y 1, con su respectiva área de protección fluvial aproximadamente 1,71 ha.

Adicionalmente, hay espacios recreativos y deportivos en la UCR (figura 11) que están orientados para fomentar y promover estilos de vida saludable y formación académica para la comunidad universitaria y visitante, además están equipados con circuitos biosaludables, bancas, bebederos, iluminación, canchas para diferentes disciplinas, piscinas, un estadio, entre otros en un área de 5,32 ha.

Figura 11. Espacio deportivo. Cancha de fútbol anexa a la Facultad de Derecho en finca 1.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

En contraparte, el espacio construido (figura 12) se estima en poco más de 41 ha. Corresponde con todo tipo de construcción como: facultades, bibliotecas, auditorios, centros e institutos de investigación, residencias estudiantiles, oficinas administrativas, laboratorios, aulas, bodegas, cafeterías, así mismo calles internas, aceras, parqueos, plazas, anfiteatros, casetas policiales o autobús, entre otros.

Las áreas cubiertas por edificaciones (13 facultades, 23 bibliotecas, 82 auditorios, 47 centros e institutos de investigación, laboratorios y oficinas) corresponde a 18,77 ha y representa casi el 20% de los usos de la tierra. Paralelamente las calles internas asfaltadas, aceras y parqueos en terreno y edificios se distribuyen en 15,11 ha, mientras que plazas, anfiteatros, terrenos en construcción y otros contabilizan 7,13 ha. Es decir, las áreas construidas ocupan el 43,1% de los terrenos de la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.

En orden, la finca 1 posee el 51% de áreas construidas (figura 13). La mayoría de la infraestructura fue desarrollada desde los años cincuenta y finales del siglo XX, como: el edificio Saprissa, la Facultad de Agronomía, la Escuela de Estudios Generales, la antigua

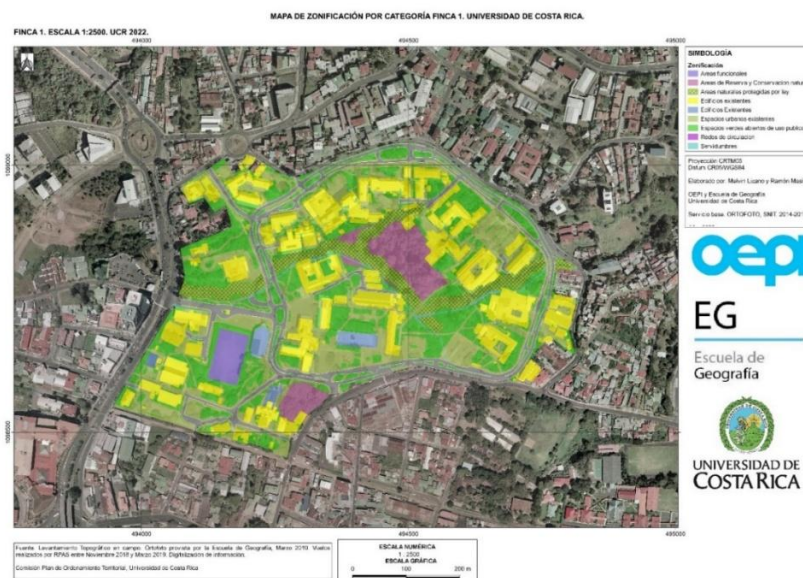
Facultad de Ingeniería. En contraparte, la finca 2 (figura 14) ha dedicado el 37,25% del área para construcción y de manera muy acelerada en los últimos 7 años para el desarrollo de la Facultad de Ciencias Sociales, Ingeniería, Plaza Autonomía, parqueos y otros. Finalmente, la finca 3 tiene un énfasis en espacios deportivos y recreativos, pero recientemente alberga la Facultad de Odontología y tiene un 11,75% de área construida (figura 15).

Figura 12. Nuevas edificaciones en finca 2.



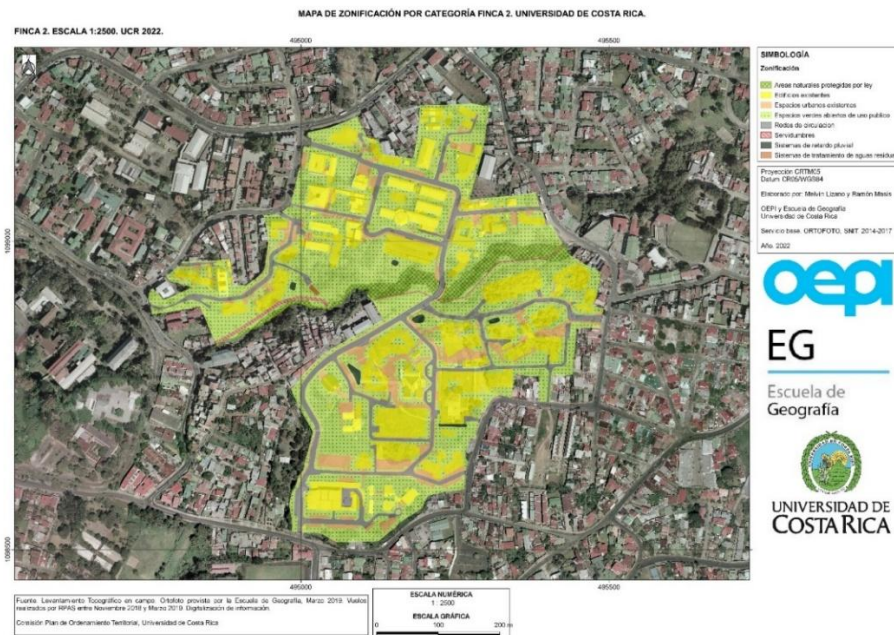
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Figura 13. Uso de la tierra Finca 1 de la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.



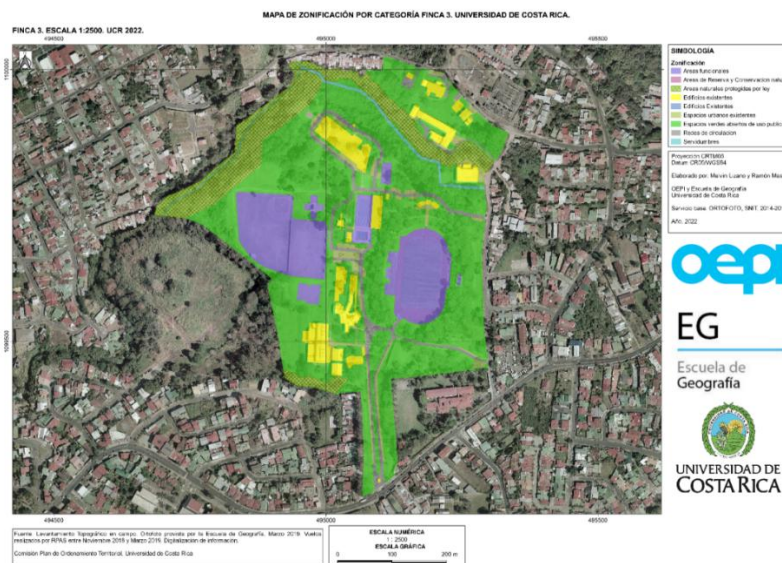
Fuente: Elaboración propia, Melvin Lizano y Ramón Masís, 2022

Figura 14. Uso de la tierra Finca 2 de la Ciudad de la Investigación.



Fuente: Elaboración propia, Melvin Lizano y Ramón Masís, 2022

Figura 15. Uso de la tierra Finca 3 Deportivas.



Fuente: Elaboración propia, Melvin Lizano y Ramón Masís, 2022

6. Discusión

El plan de ordenamiento territorial de la Universidad de Costa Rica pretende ser una herramienta de planificación y gestión universitaria que oriente a la administración con fundamentación técnica e información actualizada para la toma de decisiones en una diversidad de temas como: uso de los espacios verdes, zonas por construir, entre otros con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas que frecuentan la ciudad universitaria.

La implementación del POT tiene aplicaciones heterogéneas con enfoque territorial como; el control urbano y el desarrollo de infraestructura educativa, la gestión de residuos sólidos, el manejo del recurso hídrico, la promoción de la salud y espacios de espaciamiento, la movilidad en el campus, el ahorro y eficiencia energética en infraestructura y parque vehicular, la conservación de la biodiversidad, el monitoreo de los espacios y seguridad de la comunidad universitaria, así como la atención de las emergencias y gestión de riesgos, el mantenimiento y control de activos universitarios, entre otros más

El uso de tecnologías geoespaciales representa un insumo necesario para la puesta en práctica del POT en el campus Rodrigo Facio, especialmente mediante soluciones libres y de código abierto que permitan la recopilación, el procesamiento y análisis de la información geográfica vigente y estratégica para cumplir los objetivos y metas del POT. Además, las tecnologías libres y abiertas ofrecen mucha mayor independencia operativa y tecnológica que reduce los costos operativos a nivel institucional. Al mismo tiempo, el acceso, desarrollo e introducción de tecnologías como los RPAS y GNSS en la gestión del campus universitario permite incursionar en el desarrollo de cartografía temática con diferentes escalas de análisis por medio de diversas técnicas de la fotogrametría digital. Esto permite contar con información base para comenzar la implementación de un campus en 3D y la generación de paneles de información para la toma de decisiones por parte de las autoridades universitarias.

Adicionalmente el uso de estas tecnologías geoespaciales, en conjunto con los procedimientos realizados, permitirán el desarrollo, ejecución y levantamiento de la información bajo la misma metodología en las Sedes, Recintos u otros espacios fuera de la Sede Rodrigo Facio, garantizando la estandarización de la información según corresponda y

con el consecuente ahorro económico para la institución en beneficio del mejoramiento de la calidad de vida y servicios que brinda la Universidad hacia el público en general.

7. Conclusiones

La Ciudad Universitaria Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica ha invertido para tener un campus integrado, dinámico, diversificado, diseñado para implementar actividades sustantivas de corte académico que contribuyan al desarrollo de la sociedad costarricense. Consecuentemente las buenas prácticas en el campus a favor del ordenamiento territorial son coherentes con las políticas institucionales y nacionales.

Por medio de la implementación de tecnologías geoespaciales, la UCR posee herramientas y acceso a datos muy relevantes para un uso correcto y racional de los recursos administrados por medio de las prácticas del ordenamiento territorial, gestión del riesgo, huella ambiental, seguimiento de activos universitarios y control del uso de la tierra con el fin de regular discrepancias.

La apuesta del uso de software SIG libres y de código abierto para soluciones móviles y escritorio para la captura y procesamiento de la información permite una alta autonomía por parte de los departamentos y el recurso humano para desarrollar proyectos geoespaciales de interés institucional, que permiten un ahorro en el presupuesto dedicado a la adquisición de licencias y equipos. En el caso de la fotogrametría se recomienda el uso de software de código abierto como *OPEN DRONE MAP*.

En lo que respecta al uso de sistemas de aeronaves pilotadas remotamente, estos pueden aumentar sus capacidades por medio del equipamiento de sensores multiespectrales, hiperespectrales o incluso LiDAR (del inglés *Light Detection and Ranging*), lo que permitiría levantamientos con variadas escalas de análisis. Algunos casos con potencial son: levantamientos en 3D de la infraestructura universitaria, inventarios forestales, estado de las condiciones fitosanitarias de la biomasa de áreas verdes y protegidas, estudio de islas de calor en el campus, toma de videos, entre otros. Además, se recomienda la inclusión de la medición

de RPAS con sistemas RTK (*del inglés Real Time Kinematic*) e integrar los levantamientos de activos universitarios con equipos GNSS de mayor precisión (Geodésicos).

Finalmente, en una siguiente fase operativa se sugiere expandir esta metodología en el resto de las sedes, recintos, bienes inmuebles de la UCR y paralelamente administrar los datos, su mantenimiento desde un SIG institucional y difusión por medio del geoportal institucional, así como el uso de más aplicaciones móviles para la comunidad universitaria.

8. Agradecimientos

Los investigadores desean manifestar su agradecimiento a la Vicerrectoría de Investigación de la UCR, en el marco de la actividad de investigación B9762 y a los profesionales de la OEPI por apoyar el desarrollo de esta iniciativa en la Escuela de Geografía. Igualmente, extendemos el aporte de los asistentes Jonathan Obando, Luis Lara, además de los estudiantes de los grupos del curso de cartografía digital durante el levantamiento de datos en campo, quienes colaboraron con nosotros en esta iniciativa en el periodo 2018-2020.

9. Referencias Bibliográficas

Abbas, I, & Arigbede, Y. (2012). Green area mapping of Ahmadu Bello University Main Campus, Zaria, Nigeria using remote sensing (Rs) and geographic information system (GIS) techniques. *Journal of Geography and Regional Planning*, 5(10), 287-292.
DOI: 10.5897/JGRP12.024

Al-Rawabdeh, A., Al-Ansari, N., Attia, H, & Knutsson, S. (2014). GIS Applications for Building 3D Campus, Utilities and Implementation Mapping Aspects for University Planning Purposes. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 8(1), 19–28.
<https://doi.org/10.17265/1934-7359/2014.01.003>

- Alshuwaikhat, H., Abubakar, I., Aina, Y., Adenle, Y., & Umair, M. (2017). The Development of a GIS-Based Model for Campus Environmental Sustainability Assessment. *Sustainability*, 9(3), 439. <https://doi.org/10.3390/su9030439>
- Arias, T (2020). *LXXX aniversario de la Universidad de Costa Rica (1940-2020): antecedentes históricos de su creación*. Universidad de Costa Rica. <https://bit.ly/3wcRK55>
- Badillo, P. (2017). *Diseño e Implementación de una Metodología para la gestión de información geográfica en el marco de la ejecución del S.I.G Institucional de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. [Trabajo de grado en la modalidad de pasantía, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional Universidad Distrital. <https://bit.ly/3MHZ5Qm>
- Benedito, M., Gargallo, D., Avariento, J., Sanchis, A., Gould, M, y Huerta, J. (noviembre, 2013). *UJI Smart Campus: Un ejemplo de integración de recursos en la Universitat Jaume I de Castelló* [Discurso principal]. IV Jornadas Ibéricas de Infraestructura de Datos Espaciales, Toledo, España. <https://bit.ly/3OYwvwr>
- Burgos, N. (19 de octubre de 2018). *La UCR invirtió más de ¢12 000 millones en infraestructura para sedes y recintos*. Universidad de Costa Rica. <https://bit.ly/36Z5Z4C>
- Cardozo, A, y Marín, K. (2019). *Diseño de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en el Campus Universidad de Ibagué*. [Trabajo de pregrado, Universidad de Ibagué]. Repositorio Institucional Universidad de Ibagué. <https://bit.ly/36Z7Ia6>
- Marín, A. (10 de junio de 2020). *La UCR se mantiene entre las 20 mejores universidades de América Latina*. Universidad de Costa Rica. <https://bit.ly/373Py7i>

- Fino, C. (2018). Elementos conceptuales de las ciudades universitarias en América Latina para la consolidación del campus Bogotá de la Universidad de Colombia. En F. Pérez, et al (Eds.), *Ciudades universitarias: un proyecto moderno en América Latina* (pp. 14-46). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes. <https://bit.ly/37YFMDI>
- Flores, L., Estigarribia, V, y Rojas, J. (2015). Diseño e implementación de un sistema de información geográfico (SIG) para la Universidad Nacional del Este utilizando software libre. [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional del Este]. Portal del conocimiento. <https://bit.ly/3OWBeOW>
- Muthukrishnan, S, y Winiski, M. (29 de marzo al 2 de abril de 2016). *Drone Technology for Low-Cost Precision Mapping on Campus and in the Community*. Annual Meeting of the Association of American Geographers, San Francisco, California. <https://bit.ly/3vO9Hqe>
- Oficina de Planificación Universitaria. (2019). *Panorama cuantitativo 2019. Docencia*. Universidad de Costa Rica. Recuperado el 17 de enero de 2022, de <https://bit.ly/3vQL2kV>
- Úsuga, N. (2017). *ECOCAMPUS EAFIT Sistema de Información Geográfica*. [Trabajo de maestría, Universidad EAFIT]. Repositorio Institucional Universidad EAFIT. <https://bit.ly/3Kw7Trk>