

**ECOCAMPUS EAFIT**  
**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**NUBIA INES USUGA USUGA**

**Universidad EAFIT**  
**Escuela de Ingeniería**  
**2017**

**ECOCAMPUS EAFIT**  
**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**NUBIA INES USUGA USUGA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Magíster en Ingeniería**

**Asesora:**

**MSc. Beatriz Susana Acosta Correa**

**Medellín**

**Universidad EAFIT**

**Escuela de Ingeniería**

**2017**

**Nota de aceptación**

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

---

**Medellín, 11 de octubre de 2017**

## DEDICATORIA

A mi hijo Emmanuel.

A mi familia, especialmente a mi esposo y a mi madre por su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por estar conmigo en todo momento y permitirme llegar hasta esta parte de mi vida.

A mi asesora, MSc. ingeniera Beatriz Susana Acosta, por haber creído en mí y por aportarme día a día sus conocimientos.

## CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>10</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
OBJETIVOS .....	17
Objetivo general .....	17
Objetivos específicos .....	17
Justificación.....	18
<b>1. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>21</b>
1.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA – SIG .....	21
1.1.1 Definición de SIG .....	21
1.1.2 Componentes de un SIG.....	22
1.1.3 Modelos de representación de datos espaciales .....	24
1.1.4 Implementaciones de SIG en Colombia.....	27
1.2 UNIVERSIDAD Y SOSTENIBILIDAD .....	29
1.2.1 Impacto de las universidades sobre el medio ambiente.....	29
1.2.2 Gestión ambiental en la Universidad EAFIT ® .....	34
1.2.3 Inspección de campus verdes universitarios.....	40
<b>2. PROYECTO ECOCAMPUS EAFIT.....</b>	<b>44</b>
2.1 TECNOLOGÍA O HERRAMIENTAS UTILIZADAS .....	44
2.1.1 Herramienta utilizada para crear diagramas .....	44
2.1.2 Tecnología para la construcción de la base de datos geográfica	44
2.1.3 Plataforma para crear y publicar la aplicación web .....	45
2.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	46
2.2.1 Diseño del modelo de datos para Ecocampus EAFIT .....	46

2.2.2	Fuente de datos .....	48
2.2.3	Construcción de la base de datos y sistema de referencia por coordenadas.....	50
2.2.4	Desarrollo de aplicaciones web.....	56
2.2.5	Evaluación de usabilidad de la aplicación Ecocampus EAFIT ..	57
<b>3.</b>	<b>PRODUCTOS INFORMATIVOS .....</b>	<b>62</b>
3.1	BASE DE DATOS GEOGRÁFICA .....	62
3.2	INDICADORES AMBIENTALES .....	64
3.3	MAPAS TEMÁTICOS .....	66
3.4	MAPAS INTERACTIVOS EN LÍNEA.....	67
	<b>RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>78</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>83</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>89</b>
	ANEXO A. ESQUEMA DE MODELO DE DATOS PARA ECOCAMPUS EAFIT .....	89
	ANEXO B. RESPUESTAS A LA EVALUACIÓN DE USABILIDAD DE LA APLICACIÓN WEB ECOCAMPUS EAFIT.....	90
	ANEXO C. MAPAS TEMÁTICOS .....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Componentes de un SIG.....	22
<b>Figura 2.</b> Modelos de representación.....	24
<b>Figura 3.</b> Geometría de tipo punto. ....	25
<b>Figura 4.</b> Geometría de tipo línea.....	26
<b>Figura 5.</b> Geometría de tipo polígono.....	26
<b>Figura 6.</b> Lineamientos ambientales orientados al comportamiento. ....	38
<b>Figura 7.</b> Lineamientos ambientales orientados al accionar. ....	39
<b>Figura 8.</b> Esquema del modelo de datos para Ecocampus EAFIT. ....	47
<b>Figura 9.</b> Esquema físico de Ecocampus EAFIT.....	48
<b>Figura 10.</b> Estructura de la Geodatabase Ecocampus EAFIT.....	53
<b>Figura 11.</b> Metadatos de tipo descripción. ....	54
<b>Figura 12.</b> Metadatos sobre la referencia espacial de los datos. ....	55
<b>Figura 13.</b> Metadatos de créditos y copyright. ....	55
<b>Figura 14.</b> Metadatos de atributos.....	56
<b>Figura 15.</b> Publicación del servicio en ArcGIS Online.....	56
<b>Figura 16.</b> Aplicación web Ecocampus EAFIT.. ....	68
<b>Figura 17.</b> Muestra de información asociada a un elemento. ....	69
<b>Figura 18.</b> Lista de capas operacionales de la aplicación -parte 1. ....	70
<b>Figura 19.</b> Lista de capas operacionales de la aplicación -parte 2. ....	71
<b>Figura 20.</b> Leyenda de elementos ambientales.....	72
<b>Figura 21.</b> Filtros disponibles en la aplicación.....	73
<b>Figura 22.</b> Indicadores ambientales contenidos en la aplicación web.....	73
<b>Figura 23.</b> Aplicación web para el registro de consumo de agua.....	74
<b>Figura 24.</b> Ventana de edición de atributos.....	74
<b>Figura 25.</b> Aplicación web uso del espacio físico.....	75
<b>Figura 26.</b> Capas y simbologías.....	76
<b>Figura 27.</b> Información asociada a una construcción.....	77
<b>Figura 28.</b> Información asociada a un interior y a un acceso dentro de una construcción.....	77

<b>Figura 29.</b> Modelo de datos del sistema Ecocampus EAFIT.....	89
<b>Figura 30.</b> Mapa de zona verde del campus EAFIT.....	91
<b>Figura 31.</b> Mapa de inventario de árboles.....	92
<b>Figura 32.</b> Mapa de elementos ambientales.....	93
<b>Figura 33.</b> Mapa de diseño de techos.....	94
<b>Figura 34.</b> Mapa de modalidad de enfriamiento en las construcciones.....	95
<b>Figura 35.</b> Mapa de % de instalación de aire acondicionado en las construcciones.....	96
<b>Figura 36.</b> Mapa de parqueadero vehicular y de bicicletas.....	97
<b>Figura 37.</b> Mapa de medidores de agua.....	98
<b>Figura 38.</b> Medidores de agua, mapa 1 de 2.....	99
<b>Figura 39.</b> Medidores de agua, mapa 2 de 2.....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Declaraciones de la Educación Superior.....	32
<b>Tabla 2.</b> Prácticas ambientales en la Universidad EAFIT®.....	35
<b>Tabla 3.</b> Sistemas de reconocimiento de los programas ambientales y de sostenibilidad en las universidades.....	40
<b>Tabla 4.</b> Categorías y ponderación del <i>GreenMetric</i> .....	41
<b>Tabla 5.</b> Universidades más verdes del mundo.....	42
<b>Tabla 6.</b> Universidades más verdes de Colombia.....	42
<b>Tabla 7.</b> Ubicación de la Universidad EAFIT® en el <i>GreenMetric</i> .....	43
<b>Tabla 8.</b> Fuente de datos de Ecocampus EAFIT.....	49
<b>Tabla 9.</b> Métricas y criterios de evaluación de la aplicación web.....	58
<b>Tabla 10.</b> Preguntas de evaluación de usabilidad de la aplicación web.....	59
<b>Tabla 11.</b> <i>Datasets</i> contenidos en la base de datos.....	62
<b>Tabla 12.</b> Tablas contenidas en la base de datos.....	63
<b>Tabla 13.</b> Indicadores ambientales.....	64
<b>Tabla 14.</b> Mapas temáticos.....	66

## GLOSARIO

**ARCGIS:** es un conjunto de programas que permiten crear y utilizar sistemas de información geográfica, creado y comercializado por la compañía *Environmental Systems Research Institute* -ESRI-, es líder a nivel mundial y proporciona herramientas que facilitan la recopilación, la edición, la organización de datos y metadatos, el análisis, la administración y la publicación de información geográfica (ESRI, s. f.).

**FEATURE CLASS:** clase de entidad o capa de datos usada para representar objetos del mundo real bajo una misma representación espacial que puede ser punto, polígono o línea. Tiene información no espacial asociada como atributos. En la *Geodatabase*, las *features class* se organizan dentro de los *features datasets* (Alonso, 2016).

**FEATURE DATASET:** elementos que permiten agrupar en una *Geodatabase*, espacial o temáticamente los *features class*, asignándoles un marco de referencia espacial común (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2016).

**GEODATABASE:** estructura de datos que usa ArcGIS™ para la edición y administración de información geográfica que se almacena como un conjunto de *datasets*. Es uno de los sistemas de almacenamiento de datos más usado en el mundo SIG (ESRI, 2016).

**INDICADORES AMBIENTALES:** parámetros que brindan información sobre el cumplimiento de los objetivos de gestión ambiental (Botía Flechas y Castro, 2011).

**MAGNA COLOMBIA:** Marco Geográfico Nacional de Referencia usado en Colombia, tiene como identificador único de referencia espacial WKID: 3116.

**MAPA INTERACTIVO EN LÍNEA:** visualización interactiva de información geográfica disponible en la web, con elementos como mapas base, capas de datos, ventanas emergentes para mostrar información de los elementos, y herramientas de navegación para el desplazamiento panorámico y el zoom (ESRI, 2017).

**MAPA TEMÁTICO:** mapa con la representación de un tema específico, muestra el comportamiento espacial de los elementos o variable representada, esta puede ser de cualquier tipo: física, social, política o cultural entre otras (Olaya, 2014).

**METADATOS:** datos acerca de los datos, expresan el significado que ellos tienen y la información que almacenan (Olaya, 2014).

**NTC 4611:** Norma Técnica Colombiana de Metadatos Geográficos, declara el esquema requerido para presentar la información geográfica análoga y digital (Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital IDECA, s. f.).

**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG):** combinación organizada de hardware, software y datos espaciales con la finalidad de administrar y desplegar la información geográfica referenciada para dar solución a problemas de planificación y gestión (Santovenia Díaz, Tarragó Montalvo, y Cañedo Andalia, 2009).

**SISTEMA DE REFERENCIA POR COORDENADAS:** sistema de referencia usado para ubicar un punto en la superficie terrestre (Escobar, 2011).

**SISTEMAS GESTORES DE BASES DE DATOS (SGBD):** pieza de software que sirve como mecanismo de interacción entre los datos y los programas que van a hacer uso de ellos. En las bases de datos geográficas, son el componente que permite unir el SIG con la base de datos en la que se almacenan los espaciales con los que el SIG va a trabajar (Olaya, 2014).

**UNESCO:** *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), fundada en 1945 con el fin de ayudar a la consolidación de la paz, la erradicación

de la pobreza, el desarrollo sostenible y el diálogo intercultural mediante la educación, las ciencias, la cultura, la comunicación y la información (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2017).

**USABILIDAD:** capacidad de una aplicación web o producto software para ser entendido, aprendido, usado y ser llamativo para el usuario, cuando se usa bajo determinadas condiciones (ISO 25000, 2017).

## RESUMEN

La protección del medio ambiente es una tarea de todos. Muchas universidades lo han asumido como compromiso y le han dado prioridad en sus agendas institucionales. La Universidad EAFIT® no ha sido ajena a este tema y ha institucionalizado este compromiso haciéndolo parte de los principios de gobernabilidad y administración de la Universidad, por tanto, ha implementado estrategias y acciones ambientales en busca de una Universidad Parque que contribuya a un desarrollo sostenible.

Como apoyo al desarrollo y seguimiento de las acciones ambientales que adelanta la Universidad EAFIT® sede Medellín y como ayuda a la gestión de espacios físicos, se ha diseñado y desarrollado el sistema informático Ecocampus EAFIT, basado en herramientas SIG. Hacen parte de los productos del proyecto una base de datos geográfica y tres aplicaciones web, dos de visualización y consulta, y una de edición de datos creada como prueba piloto para registrar el consumo de agua del campus universitario.

Entre los beneficios que un SIG puede aportar a la gestión ambiental y a la gestión de espacios físicos, están: suministrar un inventario de los elementos que soportan las acciones ambientales implementadas por la institución, generar indicadores medioambientales que reflejen los resultados de los programas ambientales, llevar una trazabilidad de la operación ambiental, proporcionar un inventario detallado de la infraestructura física del campus, servir de ayuda para evidenciar resultados y reportar avances ambientales, publicar y compartir mapas interactivos en internet que muestren de forma integrada los elementos estudiados, presentando una imagen de la realidad a los diferentes usuarios.

**Palabras clave:** SIG, ACTIVIDADES AMBIENTALES, DESARROLLO SOSTENIBLE, MEDIO AMBIENTE, INFRAESTRUCTURA FÍSICA, CAMPUS UNIVERSITARIO.

## INTRODUCCIÓN

La tecnología Sistemas de Información Geográfica -SIG- está tomando cada vez más fuerza, por un lado las empresas se están dando cuenta de que con estos sistemas pueden integrar información dispersa, de manera ágil; además, pueden, por ejemplo, compartirla en mapas interactivos en internet, lo cual facilita la interpretación de los datos, la comunicación, la colaboración y, finalmente, el proceso de toma de decisiones.

Por otro lado, ha aumentado la accesibilidad a los datos geoespaciales, que hoy en día abundan en la web. La disponibilidad cada vez mayor y los avances continuos de tecnologías como software y dispositivos inteligentes hacen que la tecnología SIG cobre importancia para que las instituciones mejoren sus procesos y consigan sus objetivos.

Son muchas las áreas del saber que están utilizando los SIG para llevar a cabo sus procesos. Entre ellas: la gestión pública y territorial, el seguimiento medioambiental y la práctica ingenieril.

En este trabajo de grado se presenta el diseño, desarrollo y resultados del proyecto Ecocampus EAFIT, como una solución informática utilizando herramientas SIG, la cual tiene como objetivo registrar, medir y verificar de forma integrada las políticas, planes y programas que reflejan el compromiso de la Universidad EAFIT® con el medio ambiente y sus funciones sustantivas, en el campus sede Medellín-Colombia.

La base de datos geográfica del sistema Ecocampus EAFIT se elaboró utilizando la tecnología ArcGIS™. Las fuentes de datos para poblar dicha base de datos y producir la información del sistema fueron principalmente el Departamento de Planta Física de la Universidad, la cartografía base de ESRI y datos levantados mediante trabajo de campo. Se crearon tres aplicaciones web para visualizar, consultar y editar información, estas aplicaciones fueron creadas y publicadas haciendo uso de la plataforma ArcGIS™ Online.

La estructura del contenido de este trabajo de grado es la siguiente:

El capítulo 1 comprende el marco conceptual, esto es, la definición de SIG, la exposición de los componentes del mismo, los modelos de representación para los datos espaciales y algunas implementaciones del SIG en Colombia. Una segunda parte del marco conceptual está dedicada a la Universidad y a su relación con la sostenibilidad, se contextualiza sobre el impacto que crean las universidades sobre el medio ambiente con sus actividades del día a día, sobre cuál ha sido la respuesta por parte de los representantes de la educación superior a esta problemática y, particularmente, se enfatiza en estrategias y actividades de gestión ambiental que se adelantan en la Universidad EAFIT® para proteger el medio ambiente y lograr una universidad parque. Por otro lado, se indican los principales sistemas de reconocimiento de los programas ambientales y de sostenibilidad en instituciones de educación superior. Se suministra información sobre el ranking *UI GreenMetric* como el principal reconocedor de las labores ambientales en las universidades a nivel internacional. De acuerdo con los resultados del ranking se listan las 5 universidades más verdes del mundo y las 10 más verdes de Colombia para el año 2016, y se muestran los puntajes obtenidos por la Universidad EAFIT® en sus tres años de participación.

El capítulo 2 está dedicado a la presentación del proyecto Ecocampus EAFIT, iniciando por las herramientas y tecnologías usadas para el diseño y desarrollo del sistema, continuando con la explicación del diseño y con la construcción de las partes que conforman el sistema.

El capítulo 3 muestra los productos informativos, es decir, los resultados o productos del sistema, ellos son: la base de datos geográfica, los mapas temáticos y las aplicaciones web compartidas con los usuarios del sistema.

Finalmente, se exponen las conclusiones encontradas a lo largo del desarrollo del proyecto y se sugieren algunas recomendaciones que se consideran importantes para el sistema presentado. Como anexos de este trabajo de grado se presenta modelo de datos del sistema desarrollado, las respuestas a la evaluación de la usabilidad de la aplicación

Ecocampus EAFIT, y los mapas temáticos creados para el Departamento de Planta Física y para ser publicados en la aplicación web.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Diseñar y desarrollar una solución informática, basada en herramientas SIG, que permita registrar, medir y verificar de forma integrada las políticas, planes y programas que reflejan el compromiso de la Universidad EAFIT® con el medio ambiente y sus funciones sustantivas, en el campus sede Medellín-Colombia.

### **Objetivos específicos**

- Diseñar el modelo de datos que identifica y describe las propiedades de la información requerida, en la solución del sistema Ecocampus EAFIT.
- Diseñar y construir la base de datos geográfica que sea el soporte estructural para almacenar los datos del sistema Ecocampus EAFIT, utilizando la herramienta informática ArcGIS™.
- Construir la aplicación web que facilite la consulta de los elementos físicos y su comportamiento, que evidencian el desempeño ambiental espacio-temporal del campus EAFIT sede Medellín.
- Construir la aplicación web que publique información de la infraestructura física de la Universidad EAFIT® - sede Medellín; con el propósito de evaluar y planear la existencia, uso y capacidad de los espacios físicos para el desarrollo de las funciones sustantivas y que favorecen el bienestar de la comunidad institucional.

## Justificación

En nuestros días se observa la necesidad vital de conservar el medio ambiente, a tal efecto que a nivel mundial se está trabajando en busca de un desarrollo sostenible sin precedentes. Particularmente en las universidades se viene incorporando el tema de sostenibilidad desde la Declaración de Estocolmo en 1972 (Rivas Marín, 2011), igualmente, se ha reafirmado la necesidad de fomentar la misión de la educación superior para que contribuya a la conservación de nuestro entorno ambiental (UNESCO, 1998). Dado lo anterior, las universidades han manifestado su compromiso mediante varias declaraciones y se han dado a la tarea de definir políticas y estrategias de actuación que ayuden a preservar el medio ambiente.

Dentro de las declaraciones hechas por los líderes mundiales en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible en 2012, se evidencia que reconocen el poder de las tecnologías de la comunicación y las aplicaciones innovadoras, para beneficiar los diferentes ámbitos del desarrollo sostenible y, muy particularmente, se dirigen a los Sistemas de Información Geográfica -SIG- como una herramienta que beneficia las actividades de sostenibilidad. Los líderes declaran: “Reconocemos la importancia de los datos basados en la tecnología espacial, la supervisión *in situ* y la información geoespacial fidedigna para la formulación de políticas, la programación y las operaciones de proyectos de desarrollo sostenible” (Naciones Unidas, 2012).

De modo similar, los SIG son considerados herramientas útiles en la solución de los problemas ambientales, en la planificación del territorio y en la gestión de los recursos naturales, además, se consideran sistemas de apoyo y soporte para la toma de decisiones (Quiroz Ortuño, 2010). Con esto se deduce que los SIG constituyen una herramienta clave a la hora de administrar actividades ambientales y de gestión del espacio físico, por tanto, resulta útil en un campus universitario en aquello relacionado con estos temas.

Teniendo en cuenta la utilidad potencial de este sistema, se desarrolla el proyecto Ecocampus EAFIT, como un SIG que aporta al desarrollo y monitoreo de las estrategias y acciones ambientales que la Universidad EAFIT® ha definido para promover en la comunidad universitaria una mayor responsabilidad en la conservación de la biodiversidad y del medio ambiente.

Dentro de los beneficios que proporciona un SIG al desarrollo y monitoreo de las estrategias y acciones ambientales se tienen:

1. Registra la referenciación geográfica de puntos y elementos claves que soportan las acciones ambientales implementadas por la institución.
2. Contiene indicadores medioambientales que reflejan el comportamiento de los elementos observados y dan respuesta a los objetivos propuestos.
3. Favorece la visualización de forma integrada de los elementos estudiados.
4. Permite publicar en la web mapas interactivos para la comunidad general y para los gestores al interior de la Universidad.
5. Permite tener trazabilidad de la operación ambiental.
6. Proporciona un ambiente colaborativo para usuarios con diferentes intereses.
7. Hace las veces de *herramienta poderosa* para automatizar la búsqueda de una respuesta deseada.
8. Hace más objetivo y eficiente el desarrollo de las estrategias de sostenibilidad ambiental al registrarse y evaluarse los datos en un SIG.
9. Aporta una forma de conocer los resultados de los programas ambientales, con el fin de mejorar cada vez más su gestión y/o de reportar los avances que se hagan ante entidades externas.

De otro lado, Ecocampus EAFIT también genera información con alto grado de detalle sobre la distribución y uso de espacios en el campus universitario, lo que lo hace útil para apoyar las actividades de administración de espacios y presentación de informes que incluyan este tipo de información, ya que el saber “DÓNDE” permite tomar decisiones acertadas, respecto a la infraestructura y el espacio físico.

Por consiguiente, esta es una oportunidad para hacer uso de nuevas tecnologías que apoyen la gestión del medio ambiente y del espacio territorial, logrando una integración de toda la información que actualmente se tiene en archivos dispersos tipo Excel, archivos CAD, documentos de texto y PDF. Aprovechar las capacidades de un SIG contribuye a conectar personas con el conocimiento y con la información disponible para toda la institución, dándoles a los usuarios y gestores una imagen más comprensible de la realidad, compartiendo más datos, actualizándolos desde diferentes actores y reduciendo la duplicidad de esfuerzos (Pang Lo y Yeung, citado en Castro Benavides, Cardona Torres, Rivera Valencia y Vila Ortega, 2011).

# 1. MARCO CONCEPTUAL

## 1.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA – SIG

### 1.1.1 Definición de SIG

En la literatura se encuentran muchas definiciones para los Sistemas de Información Geográfica -SIG-. Hay quienes lo consideran como un software o base de datos geográfica, para otros es una herramienta o una plataforma, también es considerado una tecnología, hasta el punto de considerarlo como una poderosa “caja de herramientas” para gestionar información geográfica (Burrough, citado en Botella Plana, A., Muñoz Bolas, A., Rodríguez Lloret, J., Olivella González, R., Olmedillas Hernández, J.C., 2011).

Para el padre del SIG, Roger Tomlinson, este es “un sistema complejo de partes interconectadas” (2007, p.5). En algunas definiciones aparece como una combinación de elementos, así lo refieren los autores Santovenia, Tarragó y Cañedo, quienes manifiestan que los SIG “son una integración organizada de hardware, software y datos geográficos, diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión” (2009). Así mismo lo considera Maantay and Ziegler para quienes un SIG “es Información acerca del mundo real que ha sido abstraída y simplificada en una base de datos digital de objetos espaciales y no-espaciales, los que en conjunción con software especializado junto con profesionales expertos producen soluciones a problemas espaciales” (Acosta, 2014).

En las definiciones consultadas siempre prevalece la referencia al tipo de información que se trabaja con los SIG: información geográfica, espacial o georreferenciada. Vale la pena definir, entonces, su significado: es información acerca de un elemento en la superficie de la tierra, saber su ubicación “dónde” o identificar “qué hay” en un determinado sitio (Botella Plana et al., 2011).

La información geográfica está representada o proviene de datos geográficos, por lo que es importante agregar, también, el significado de este concepto. Los datos geográficos son la representación del mundo real y sus componentes son el espacial, el temático y temporal. El componente espacial está relacionado con la ubicación en el espacio, el temático (usualmente reconocido como información no espacial) corresponde a las propiedades o atributos que dan cuenta del comportamiento de los elementos representados, y el componente temporal asocia información del tiempo y está ligado al cambio que puede tener lo espacial y temático a lo largo del tiempo (Botella Plana et al., 2011). En forma general se puede decir que los SIG son un conjunto de elementos que trabajan sistemáticamente sobre información de algo ubicado en el mundo real.

### 1.1.2 Componentes de un SIG

Los SIG están conformados por un conjunto de elementos que se expondrán a continuación:



**Figura 1.** Componentes de un SIG. Adaptado de (Botella Plana et al., 2011)

- **Hardware.** Comprende todos los dispositivos periféricos de entrada y de salida, los mecanismos de red, equipos GPS o GNSS (sistema global de navegación por satélite) y los equipos necesarios para ejecutar el software.
- **Software.** Aplicaciones informáticas utilizadas para administrar los datos y realizar los procedimientos o análisis de los mismos.
- **Datos.** Materia prima de los SIG. Útiles para producir la información geográfica, normalmente se encuentran almacenados en una base de datos.
- **Procedimientos.** Métodos, operaciones y análisis que se hacen sobre los datos para obtener unos resultados.
- **Aplicaciones.** Componente recientemente incorporado, ligado a la rápida evolución del internet. A través de las aplicaciones se puede visualizar, consultar, analizar y compartir la información geográfica sin necesidad de instalar programas o descargar datos.
- **Personas.** Componente más importante de un SIG. Ellas son la razón de ser del sistema. Un SIG necesariamente es manejado por personas, las cuales deben estar familiarizadas con el hardware y el software y tener el conocimiento de los procedimientos y análisis que requieren el uso y aprovechamiento de los SIG. Si se analiza quiénes son los beneficiados de los resultados de un SIG, seguramente se encontrará que son instituciones o la sociedad las cuales están conformadas por personas<sup>1</sup>.

La mayoría de autores coinciden en lo que consideran son los componentes de un SIG, hay variaciones solo en el nombre del componente, por ejemplo, los procedimientos aparecen también como métodos, o las aplicaciones se pueden encontrar como el componente de red, pero en esencia cumplen la misma función de compartir la información. Por otro lado, para el pionero de los SIG, Tomlinson, es importante un componente que no aparece en los expuestos anteriormente, y son los productos

---

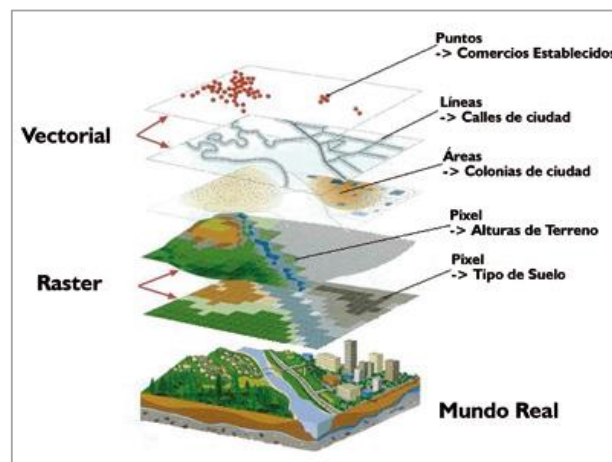
<sup>1</sup> La información sobre los componentes de un SIG ha sido tomada de Olaya, 2014 y de Botella Plana et al., 2011.

informativos, considerados como lo que se requiere o se busca obtener del SIG (mapas, informes, gráficos etc.) (Tomlinson, 2007).

### 1.1.3 Modelos de representación de datos espaciales

Existen diferentes modelos de representación con los cuales se pueden simbolizar los diferentes elementos en una zona geográfica, en busca de representar la realidad, para conocerla haciendo un análisis a través del modelo.

Por lo general, para un mismo tipo de información hay diferentes formas de materializar la realidad y plasmar el modelo geográfico específico. Dichas formas se clasifican en dos grupos principales: modelo de representación vectorial y modelo de representación *Ráster* (Olaya, 2014). En la siguiente imagen se puede observar un ejemplo de representación de una zona geográfica usando los dos tipos de representación:



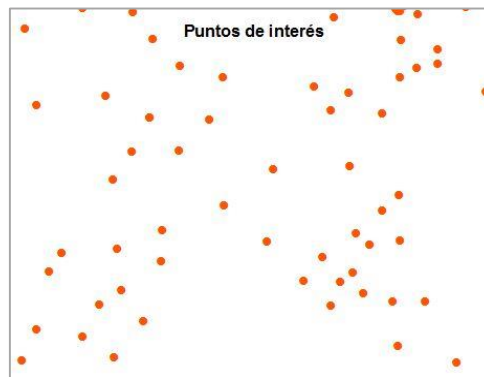
**Figura 2.** Modelos de representación. Tomado de (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], s. f.)

- **Modelo de representación vectorial.** Este tipo de modelo no divide el espacio geográfico, sino que lo define mediante una serie de entidades geométricas con valores asociados. El componente temático en este modelo, a diferencia del

modelo *ráster*, suele ser múltiple, es decir, que una entidad tiene asociado varios valores o atributos que son las propiedades que definen dicha entidad.

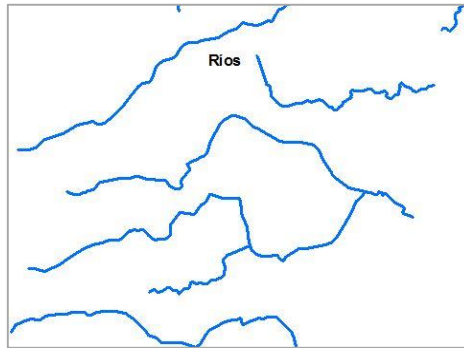
Las entidades geométricas pueden ser de tres tipos: puntos, líneas o polígonos. La elección de uno u otro depende del tipo de fenómeno que se quiere modelizar con dicha forma geométrica. Por ejemplo, un río se representa mejor con una línea, pero para un punto de interés se utiliza el punto (Olaya, 2014).

**Puntos.** Usados para representar la ubicación de elementos muy pequeños que no se mostrarían como líneas o áreas. Por ejemplo, ubicaciones de puntos de interés, de transformadores de energía y de estaciones hidrométricas (ESRI, s.f.-b).



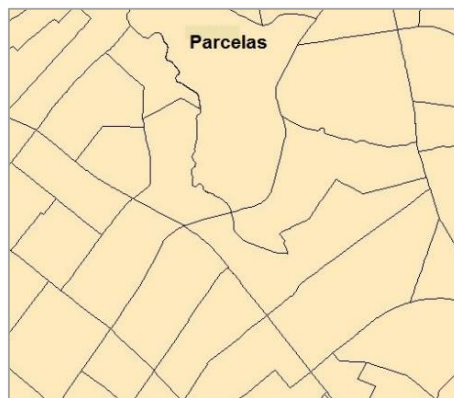
**Figura 3.** Geometría de tipo punto. Elaboración propia con base en (ESRI, s.f.-b.)

**Líneas.** Usadas para representar la forma y la ubicación de objetos geográficos que tienen longitud, pero no área; por lo que no aplica la representación de esta última. Por ejemplo, ríos, límites administrativos y curvas de nivel (ESRI, s.f.-b).



**Figura 4.** Geometría de tipo línea. Elaboración propia con base en (ESRI, s.f.-b).

**Polígonos.** Usados para representar la ubicación de entidades homogéneas, a través de figuras cerradas de varios lados. Algunos ejemplos son: parcelas de terreno, estados y tipos de suelo (ESRI, s.f.-b).



**Figura 5.** Geometría de tipo polígono. Elaboración propia con base en (ESRI, s.f.-b).

Un elemento especial del modelo de representación vectorial es la topología, para establecer las relaciones entre los distintos objetos geográficos. Esta se caracteriza por la adyacencia, la contigüidad y la conectividad. Un ejemplo en el que se utiliza la topología es en la representación de una red de vías de comunicación con direcciones de circulación.

La presencia de topología en una capa vectorial potencializa la capacidad de los SIG a la hora de llevar a cabo ciertos tipos de análisis y de editar los datos geográficos (Olaya, 2014) (Escobar, 2011).

- **Modelo de representación Ráster.** En este modelo, la zona geográfica se divide de forma sistemática en unidades mínimas (conocidas como celdas). Cada una de estas tiene asociada la información apropiada que la describe y, aunque pueden contener información sobre varias variables, lo habitual es que tenga un único valor.

La división del espacio se hace de tal forma que las celdas lo cubren completamente. Están contiguas entre sí, pero no se solapan y guardan una relación. Aunque existen formas de unidad mínima rectangulares, triangulares o hexagonales, la unidad mínima que habitualmente usan los SIG es la celda cuadrada.

En este modelo no se acostumbra almacenar las coordenadas de cada una de las celdas, sino que se recoge la orientación global, el tamaño y la localización de una celda base (normalmente la celda superior izquierda) y, a partir de esta, se calculan las coordenadas de las otras (Olaya, 2014).

#### **1.1.4 Implementaciones de SIG en Colombia**

Revisando los orígenes de los SIG, se encuentra que uno de los primeros documentos relacionados con estos son los publicados por John K. Wright en 1953, denominados *Elements of Cartography* (Olaya, 2014). Tuvieron que pasar 7 años para que apareciera el primer Sistema de Información Geográfica formalmente desarrollado por el reconocido “padre del SIG” Roger Tomlinson, usado para modelar inventarios del suelo para el gobierno en Canadá (Tomlinson, 2007). Este evento es muy importante y marca el nacimiento de los SIG.

Desde el primer SIG de Tomlinson, hace ya más de cinco décadas, no han dejado de evolucionar, dando respuesta ya sea a las nuevas tecnologías o a las necesidades de los usuarios cada vez más exigentes. A nivel nacional las implementaciones SIG han aparecido con fuerza en los últimos años, se nota que son las instituciones gubernamentales las que más han implementado esta tecnología.

A continuación se describen los SIG más reconocidos:

**SIG-OT:** Sistema de Información Geográfica para la Planificación y el Ordenamiento Territorial Nacional. Su objetivo es “contribuir a una eficiente y oportuna toma de decisiones, apoyando a los actores –autoridades e instancias– en el sistema de planeación a nivel nacional, regional y local” (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2009). Contiene información político-administrativa, socioeconómica y ambiental del país. La información es generada por varias entidades, pero el ente responsable del SIG es el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC-.

**Sistema de Información Ambiental de Colombia -SIAC-**. “Es el conjunto integrado de actores, políticas, procesos, y tecnologías involucrados en la gestión de información ambiental del país, para facilitar la generación de conocimiento, la toma de decisiones, la educación y la participación social para el desarrollo sostenible.” (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2014). Es liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en coordinación con otras entidades del sector ambiental.

**Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia -SIAM-**. Pertenece al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –INVEMAR-. Trabaja con la información ambiental y de uso de los recursos marinos y costeros de Colombia (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR, 2014).

**Sistema de Información de Movimientos en Masa -SIMMA-**. Liderado por el Servicio Geológico Colombiano –SGC-. Este sistema gestiona información de los movimientos en

masa en Colombia y fue desarrollado por el Consorcio SGC-SIMMA (Kudos Ltda.® y Mercator SIG ®) (Servicio geológico colombiano, 2017).

**SIGAU.** Es el Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano de la ciudad de Bogotá D.C. Trabaja con la información de los árboles en espacio público dentro del perímetro urbano de la Capital. Desarrollado por el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. La aplicación web fue desarrollada usando la plataforma tecnológica ArcGIS Online (Jardín Botánico de Bogotá, 2017).

**Sistema de Información Territorial -SITE-.** Creado por el Municipio de Medellín como proyecto corporativo cuya finalidad es dar a conocer la información territorial y geográfica del Municipio de Medellín. Los usuarios del sistema son los funcionarios del Municipio de Medellín, las entidades, tanto públicas como privadas, directamente relacionadas con la gestión pública del municipio y la comunidad (ESRI Colombia, 2017).

**Sistema de Información Ambiental de Medellín –SIAMED-.** Administra la información ambiental pública y privada del Municipio de Medellín, para apoyar la toma de decisiones a nivel político y administrativo, y mantener informada a la sociedad. Es administrado por La Secretaría de Medio Ambiente del Municipio de Medellín. Cuenta con varios subsistemas, entre ellos el Sistema de Árbol Urbano –SAU-, usado para gestionar información de los árboles en áreas urbanas, públicas y privadas de la ciudad de Medellín (Alcaldía de Medellín, 2017).

## **1.2 UNIVERSIDAD Y SOSTENIBILIDAD**

### **1.2.1 Impacto de las universidades sobre el medio ambiente**

A nivel mundial se está presentando un deterioro acelerado del medio ambiente, debido, en gran parte, al desgaste que hace la sociedad sobre los recursos naturales y de los cuales no puede o hace poco para recuperarlos, trayendo como consecuencia la escasez de alimentos, agua y materias primas. Las universidades no son ajenas a estos acontecimientos, ellas hacen parte de la sociedad y son consideradas pequeñas

ciudades, donde se presentan las mismas problemáticas ambientales que suceden en espacios territoriales de mayor extensión (Ramírez Sánchez, 2012).

Las universidades se consideran estructuras muy complejas, con una diversidad de culturas y grandes diferencias entre las comunidades que las conforman. En ellas diariamente se llevan a cabo numerosas actividades con las cuales se genera un impacto, ya sea de forma directa o indirecta sobre el medio ambiente; por tal motivo deben preocuparse por asumir la responsabilidad y tomar medidas dentro del sistema (Cohen citado en Rivas Marín, 2011).

Las anteriores afirmaciones vinculan claramente a las universidades y al desarrollo sostenible, el cual es definido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) como “un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades” (Centro de Información de las Naciones Unidas, 2017).

La necesidad de la sostenibilidad en la educación superior es anunciada por primera vez en la declaración de Estocolmo de 1972, donde se establecen como indispensables la educación en temas ambientales, la fomentación de la investigación y las labores científicas en el campo ambiental con fines de preservación y mejoramiento del medio ambiente (Rivas Marín, 2011).

Años después, en la “Conferencia Mundial sobre la Educación Superior en el Siglo XXI: Visión y Acción”, llevada a cabo en la sede UNESCO en París en octubre de 1998, se recalca, dentro de las misiones y funciones de la educación superior, la necesidad de reforzar y fomentar en gran medida la misión de contribuir al desarrollo sostenible y racional desde el punto de vista del medio ambiente (UNESCO, 1998).

Desde entonces, se han hecho numerosos llamamientos a las instituciones universitarias para que colaboren en la búsqueda de estrategias que contribuyan a lo propuesto. Esto se evidencia, por ejemplo, en el informe “La educación encierra un tesoro” presentado a la UNESCO por la Comisión Internacional sobre la Educación para el Siglo XXI, y en la

Cumbre de Río de 1992, conocida como “Cumbre para la Tierra” (Ramírez sánchez, 2012).

En respuesta a lo referido, la universidad, como institución social, se ha pronunciado con diversas declaraciones internacionales [Tabla 1], ha constituido múltiples asociaciones (Ramírez sánchez, 2012) y ha diseñado estrategias de actuación. Algunos centros educativos han asumido nuevos comportamientos y estilos de vida más sostenibles, al respecto han implementado normativas ambientales y sistemas de gestión ambiental, entre otras actividades.

**Tabla 1.** Declaraciones de la Educación Superior.

DECLARACIÓN	AÑO	OBSERVACIÓN
Declaración de Talloires	1990	Declaración de líderes de universidades para un futuro sostenible
Declaración de Halifax	1991	Creando un futuro común: un plan de acción para las universidades
Declaración de Swansea	1993	Refleja el compromiso de las universidades de la commonwealth (mancomunidad) para responder adecuadamente al reto de la sostenibilidad
Declaración de universidades por un desarrollo sostenible	1993	Conferencia de Rectores de Europa. Se crea la Asociación Copernicus
Declaración de Lüneburg	1997	Educación superior para el desarrollo sostenible: promoviendo el desarrollo de una Agenda 21 para la universidad
Declaración de la década de la educación para el desarrollo sostenible (2005-2014)	2003	La UNESCO es el organismo líder de la Década.
Declaración de Lübeck: Universidad y sostenibilidad	2005	Universidades de habla alemana
Informe de la educación superior en el mundo: nuevos retos y roles emergentes para el desarrollo humano y social.	2008	Red Global de Innovación Universitaria (Global University Network for Innovation, GUNI)
Declaración de Bonn	2009	Conferencia mundial de la UNESCO sobre la educación para el desarrollo sostenible

Fuente: (Ull, Martínez Agut, Piñero, y Aznar Minguet, 2010)

Tras las declaraciones expresadas por las instituciones de educación superior, se han propuesto varios lineamientos que las ayudan a guiar sus acciones en temas relacionados con el desarrollo sostenible. Así mismo, para realizar la gestión sostenible en las universidades, entendida por Ramírez Sánchez (2012) como “las actuaciones de corrección de los impactos, y prevención de los mismos”, cada centro universitario debe tener claro en qué temas ocuparse, de acuerdo con su interés particular. A continuación,

se presenta la agrupación de las actuaciones de gestión ambiental trabajadas en las instituciones universitarias, y expuestas en el XII Coloquio Internacional de Gestión Universitaria:

- **Gestión y minimización de residuos.** En todas las universidades se genera una gran cantidad de residuos. El papel y residuos de aparatos electrónicos son unos de los más generados en los campus universitarios.
- **Gestión del agua.** Considera el uso, el ahorro, la evacuación y tratamiento de las aguas residuales.
- **Gestión energética.** Relativo al consumo y ahorro de energía.
- **Gestión de la movilidad y el transporte.** Busca fomentar modos de transporte sostenibles y desincentivar el uso de vehículos privados.
- **Diseño, ordenación urbana y construcción sostenible.** Relacionado a las construcciones, al diseño arquitectónico, a la ordenación urbana y a la accesibilidad al campus.
- **Compra verde y criterios ambientales en contrataciones.** Relativa a la gestión de las empresas que le prestan servicios o proporcionan bienes a la universidad. Estas deberán cumplir con certificaciones en sistemas de gestión ambiental, buscando que también estén comprometidas con la sostenibilidad.<sup>2</sup>

En conclusión, las universidades son conscientes del impacto que tienen sobre el medio ambiente, a tal efecto que han asumido su responsabilidad a través de múltiples

---

<sup>2</sup> Las actuaciones de gestión ambiental que se presentan en este documento son tomadas del artículo *La educación superior para el desarrollo sostenible*, producto del XII Coloquio Internacional de Gestión Universitaria (Ramírez Sánchez, 2012).

declaraciones y creación de sinergias, en pro de conservar el medio ambiente y tener un mejor planeta.

### **1.2.2 Gestión ambiental en la Universidad EAFIT ®**

Una vez expuestas las principales actuaciones de gestión ambiental en los centros de educación superior, se presentarán las diferentes estrategias, prácticas y políticas establecidas en la Universidad EAFIT®, con las cuales busca aportar a la sostenibilidad ambiental.

La Universidad EAFIT®, dentro de sus principios de gobernabilidad, ha establecido políticas de compromiso con la conservación de la biodiversidad y del medio ambiente. Señala que la biodiversidad constituye “la variación de las formas de vida y se manifiesta en la diversidad genética, de poblaciones, especies, comunidades, ecosistemas y paisajes. [...] La biodiversidad es el capital biológico del mundo y representa opciones críticas para su desarrollo sostenible.” (Universidad EAFIT, Consejo Superior, 2012). En el marco de esta política, la Universidad se ha comprometido a compensar la huella de carbono que pueda generar, desarrollando un campus universitario bajo el concepto de universidad parque, adoptando iniciativas para promover una mayor responsabilidad ambiental por parte de toda la comunidad eafitense. Además, declara como uno de sus objetivos propiciar la consolidación de una cultura de conservación del medio ambiente, y respetar las normas ambientales (Universidad EAFIT, Consejo Superior, 2012) .

La Universidad EAFIT® se adhirió al Pacto Global de las Naciones Unidas (ONU) hace más de seis años, el cual es una iniciativa voluntaria, donde las empresas que participan dirigen sus estrategias bajo diez principios, relacionados con derechos humanos, estándares laborales, medio ambiente y anticorrupción. Los principios séptimo, octavo y noveno están enfocados en la conservación del medio ambiente. Al respecto, la institución participa voluntariamente en el ranking UI *GreenMetric*, y se suscribió públicamente a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) propuestos por las Naciones Unidas en el 2015, como parte de la agenda de desarrollo mundial durante los siguientes 15 años (Universidad EAFIT, 2017).

Para dar cumplimiento a lo anterior, la Universidad cuenta con un Comité Ambiental, un Comité de Sostenibilidad y un Área de Servicios de Aseo (área de coordinación) que lideran los diferentes planes relacionados con el manejo de residuos, la gestión del agua y la energía, infraestructura, transporte y educación (Universidad EAFIT, 2017). Se detallan acciones y prácticas en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Prácticas ambientales en la Universidad EAFIT®.

ACCIÓN AMBIENTAL	PRÁCTICAS EN EAFIT
<p><b>Gestión y minimización de residuos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Implementación del Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos (PMIRS).</li> <li>✓ Clasificación de residuos generados y entrega a procesos de aprovechamiento, evitando así que lleguen al relleno sanitario.</li> <li>✓ Puestos de trabajo dotados con papelera para una debida disposición y clasificación de los residuos.</li> <li>✓ Uso de vasos ecológicos en las estaciones de café, que pueden ser utilizados varias veces durante el día.</li> <li>✓ Instalación de fontaneras para evitar la generación de botellas plásticas como residuo.</li> <li>✓ Gestión de residuos posconsumo.</li> <li>✓ Utilización de papel elaborado a partir de la caña de azúcar.</li> <li>✓ Investigación con residuos ordinarios con miras a su utilización como bloques de combustible en hornos cementeros.</li> </ul>

ACCIÓN AMBIENTAL	PRÁCTICAS EN EAFIT
<b>Gestión del agua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Instalación de sistemas ahorradores de agua en baños, unidades sanitarias, orinales y lavamanos.</li> <li>✓ Implementación de sistemas de almacenamiento y reciclado de agua de lluvia para algunos bloques.</li> <li>✓ Un constante seguimiento y medición del consumo de agua en los diferentes bloques del campus, para tomar medidas de ahorro.</li> <li>✓ Captación de aguas subterráneas para riego de zonas verdes y canchas de fútbol. Actualmente está en trámite la solicitud del permiso de concesión por parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y se estima una producción aproximada de 40 m<sup>3</sup> diarios.</li> </ul>
<b>Gestión energética</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Automatización de sistemas de aire acondicionado, iluminación y bombeos en algunos bloques de la universidad.</li> <li>✓ Implementación de sistemas de iluminación inteligente KNX (estándar abierto mundial para el control de viviendas y edificios).</li> <li>✓ Instalación de medidores inteligentes para monitorear la red eléctrica y tomar medidas de ahorro y mejoramiento.</li> <li>✓ Implementación de un enfriador de agua de mejor eficiencia energética para la producción de agua helada en la Universidad.</li> </ul>
<b>Gestión de la movilidad y el transporte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Medida de pico y placa alineada con la de la Secretaría de movilidad de Medellín (opera todo el día).</li> <li>✓ Celdas de parqueo exclusivas y sin costo para vehículos eléctricos.</li> <li>✓ Sistema interno de bicicletas.</li> <li>✓ Bici-parqueaderos y estaciones para reparación de bicicletas.</li> </ul>
<b>Diseño, ordenación urbana y construcción sostenible</b>	<p>Dentro de las políticas de la Universidad está la construcción de obras de infraestructuras sostenibles usando tecnologías amigables con el medio ambiente.</p> <p>El Plan de desarrollo físico proyectado para el año 2024 (Plan Maestro 2024), tiene como objetivo principal “la consolidación del campus como un gran pulmón verde dentro del Área Metropolitana” y ser reconocido por sus cualidades paisajísticas.</p>

ACCIÓN AMBIENTAL	PRÁCTICAS EN EAFIT
<b>Compra verde</b>	De acuerdo con el reglamento de contratación de la Universidad EAFIT®, la selección del proveedor o contratista se hace de forma objetiva, teniendo en cuenta varios criterios, dentro de los cuales se incluye las políticas de manejo ambiental que tenga la empresa a contratar, y el cumplimiento de los más altos estándares ambientales dando cumplimiento al principio de responsabilidad social.

Fuente: elaboración propia con base en (Universidad EAFIT, Consejo Directivo de la Universidad, 2014) (Universidad EAFIT, 2015) (Universidad EAFIT, 2017)

La Institución también adelanta tareas de promoción, sensibilización y formación, como campañas ambientales, capacitaciones en aulas y oficinas administrativas. Por otro lado, lleva el registro de contabilidad ambiental que consiste en la divulgación de resultados y las contribuciones ambientales al planeta. Añádase a esto la iniciativa de la medición de la huella de carbono corporativa, que indicará la cantidad de gases de efecto invernadero generados por la Universidad (Universidad EAFIT, 2017).

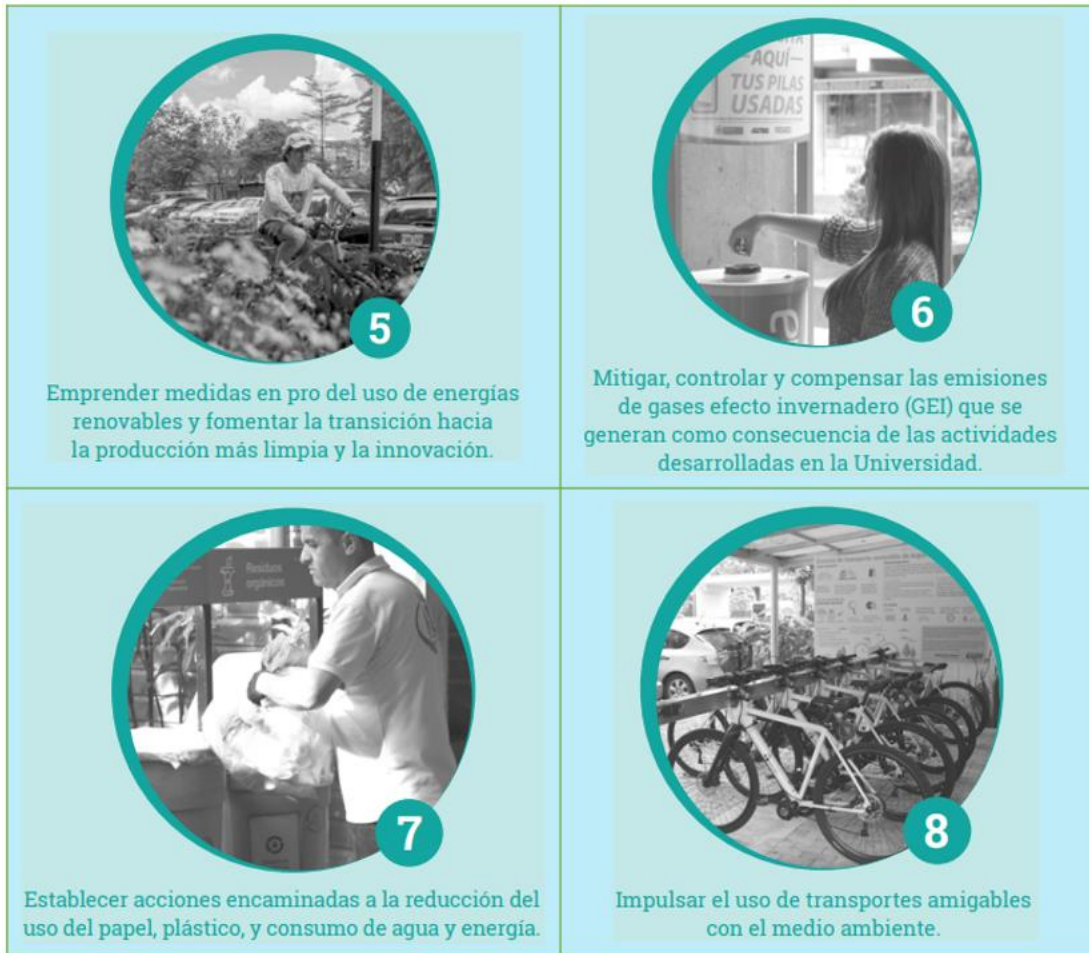
En cuanto a educación ambiental, en la Universidad se realizan capacitaciones a empleados docentes y administrativos. Se ofrecen las materias de ecología, hombre y medio ambiente, y desarrollo sostenible al interior del Núcleo de Formación Institucional. Constantemente se tienen eventos académicos y de ciudad relativos al tema ambiental (Universidad EAFIT, 2017).

### **Lineamientos ambientales de la Universidad EAFIT ®**

Según el rector Juan Luis Mejía Arango son ocho los lineamientos que abarcan de manera global las actividades realizadas en la institución a nivel académico y administrativo (Universidad EAFIT, 2017). Los lineamientos se expresan en las siguientes figuras:



**Figura 6.** Lineamientos ambientales orientados al comportamiento. Tomado de (Universidad EAFIT, 2017)



**Figura 7.** Lineamientos ambientales orientados al accionar. Tomado de (Universidad EAFIT, 2017)

En concreto, las políticas y estrategias adoptadas, y sobre todo las acciones del Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad, dan cuenta de la adopción del concepto de Universidad Parque, siendo vitales para crear una cultura interna de sostenibilidad, para favorecer que el campus se proyecte al mundo como un eco campus y para ser un referente en buenas prácticas ambientales.

### 1.2.3 Inspección de campus verdes universitarios

En la actualidad son muchas las universidades que han asumido su responsabilidad ambiental y contribuyen con diversas medidas y actividades a la sostenibilidad. A razón de este suceso, han aparecido algunos sistemas de reconocimiento que tienen como fin la medición de los esfuerzos de sostenibilidad de los campus universitarios. En la siguiente tabla se presentan los principales sistemas de reconocimiento de los programas ambientales y de sostenibilidad en instituciones de educación superior.

**Tabla 3.** Sistemas de reconocimiento de los programas ambientales y de sostenibilidad en las universidades.

HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN	PROMOTORES	AÑO DE CREACIÓN	PAÍSES DE APLICACIÓN
Aishe	DHO -Dutch Network for sustainable development in Higher Education Curricula	1.0: 2001 2.0: 2009	Países Bajos, en menor medida en otros países europeos como Bélgica y Suecia.
Stars	AASHE-Association for the Advancement of Sustainability of Higher Education	2007	Estados Unidos y Canadá.
Green league for universities	People and Planet	2007	Reino Unido
Life index: learning in future environments	EAUC - Environmental Associations for Universities and Colleges	2011	Reino Unido
Le plan vert	Ministère de L'Écologie / Ministère de L'Enseignement Supérieur / Conférence des grandes écoles / REFEDD (Réseau français des étudiants pour le développement durable) / Conférence des présidents d'université	2010	Francia
UI Green metric	Universitas Indonesia	2010	Internacional

Fuente: Tomado de (Alba Hidalgo et al., 2012)

El ranking *UI Greenmetric World University* es el único reconocido a nivel internacional, se trata de un mecanismo creado por la Universidad de Indonesia para clasificar las universidades que participan voluntariamente. Su primera versión fue en el año 2010 con una participación de 95 universidades procedentes de países de América, Europa, Asia y Australia, en la versión 2016 participaron 515 universidades de países de todo el mundo (UI Greenmetric, 2017).

El ranking no solo compara el desempeño ambiental de las universidades, sino que también busca la proliferación de campus más verdes, así lo manifiesta en sus objetivos (UI Greenmetric, 2017). En la siguiente tabla se presentan las categorías y la ponderación utilizadas en la metodología de medición.

**Tabla 4.** Categorías y ponderación del *GreenMetric*.

Nº	CATEGORÍA	PORCENTAJE DE PUNTOS TOTALES (%)
1	Entorno e infraestructura	15
2	Energía y cambio climático	21
3	Residuos	18
4	Agua	10
5	Transporte	18
6	Educación	18
	Total	100

Fuente: tomado de (UI Greenmetric, 2017)

Como resultado de dichas mediciones se puede hablar de la existencia de campus verdes o de la existencia de universidades más verdes que otras. De acuerdo con los resultados del ranking en el 2016, se presentan en las siguientes tablas las 5 universidades más verdes del mundo y las 10 universidades más verdes de Colombia.

**Tabla 5.** Universidades más verdes del mundo.

UBICACIÓN	UNIVERSIDAD
1	Universidad de California - Davis
2	Universidad de Nottingham
3	Universidad y Centro de Investigaciones Wageningen
4	Universidad de Connecticut
5	Universidad Oxford

Fuente: tomado de (Universidad EAFIT, 2017)

**Tabla 6.** Universidades más verdes de Colombia.

POSICIÓN GLOBAL	UNIVERSIDADES COLOMBIANAS
45	Universidad Nacional de Colombia
55	Universidad del Rosario
145	Universidad de los Andes
154	Universidad Autónoma de Occidente
168	Universidad del Norte
176	Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales
177	Universidad Tecnológica de Pereira
208	Universidad EAFIT
237	Universidad Jorge Tadeo Lozano
246	Universidad Icesi

Fuente: tomado de (Universidad EAFIT, 2017)

La Universidad EAFIT® participa en el *UI GreenMetric* desde el año 2014. Año tras año ha subido posiciones, destacándose en las categorías de infraestructura y manejo de residuos. Según la coordinadora de los planes ambientales de la Universidad EAFIT®, se tiene como meta estar entre las 100 universidades más verdes del planeta (Universidad EAFIT, 2017). A continuación se muestra la ubicación que ha tenido la institución en los tres años de participación:

**Tabla 7.** Ubicación de la Universidad EAFIT® en el *GreenMetric*.

<b>UBICACIÓN</b>	<b>AÑO</b>
316	2014
269	2015
208	2016

Fuente: elaboración propia con base en (Universidad EAFIT, 2017).

## 2. PROYECTO ECOCAMPUS EAFIT

### 2.1 TECNOLOGÍA O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Actualmente existen varias tecnologías o herramientas informáticas tanto libres como propietarias, para el diseño y el desarrollo de un SIG. La elección de estas se hace teniendo en cuenta las necesidades y los beneficios que brinden al sistema que se va a desarrollar. A continuación se describen las herramientas utilizadas para el diseño y desarrollo del sistema Ecocampus EAFIT.

#### 2.1.1 Herramienta utilizada para crear diagramas

En la etapa de diseño de un software se hace necesario crear diagramas que contengan gráficamente la estructura, el comportamiento, las relaciones entre objetos o procesos, el funcionamiento y los componentes del sistema que se va a desarrollar. Los diagramas son para el software lo que los planos son para las construcciones, y ayudan a comprender mejor el sistema.

Luego de hacer una búsqueda sobre los programas usados actualmente para representar diagramas relacionados al desarrollo de software, se utilizó la herramienta *Draw.io*, para crear el modelo de datos y el modelo físico del sistema Ecocampus EAFIT.

Se eligió la herramienta *Draw.io* porque es una aplicación web que permite crear diagramas en línea sin necesidad de descargar o instalar nada. Su entorno de trabajo es sencillo y fácil de utilizar, las opciones que ofrece para diagramar son muy completas y permite almacenar los diagramas creados en diferentes servicios en nubes como *Google® Drive*, *GitHub™*, *OneDrive™* y *DropBox™*. Permite, también, exportar los diagramas a varios formatos. Es libre y cuenta con soporte.

#### 2.1.2 Tecnología para la construcción de la base de datos geográfica

Actualmente existen varias tecnologías utilizadas para la construcción de sistemas de información geográfica y bases de datos geográficas. Existen de tipo libre y propietario,

todas ellas se caracterizan por estar evolucionando a la par con nuevas tecnologías y según las necesidades de los usuarios.

La tecnología elegida para crear la base de datos del sistema Ecocampus EAFIT es ArcGIS™ Desktop (versión 10.4), por ser la herramienta más reconocida y usada en las instituciones estatales y educativas, tanto a nivel local como nacional. Otra razón, es que la Universidad EAFIT® cuenta con la licencia de ArcGIS™, para uso académico y comercial.

ArcGIS™ es un sistema que permite crear y utilizar sistemas de información geográfica, es líder a nivel mundial y proporciona herramientas que facilitan la recopilación, la edición, la organización de datos y metadatos, el análisis, la administración y la publicación de información geográfica (ESRI, s. f.). ArcGIS™ es creado y comercializado por la compañía *Environmental Systems Research Institute* -ESRI-.

### **2.1.3 Plataforma para crear y publicar la aplicación web**

La tecnología ArcGIS™, además de proporcionar software de escritorio (ArcGIS™ Desktop), también incluye una infraestructura on-line basada en la nube (ArcGIS™ Online), recursos configurables como plantillas de aplicación, mapas base y contenido que comparten los usuarios (ESRI, s.f.-a). La compatibilidad de la plataforma de escritorio y de la nube hace posible la creación de mapas web usando el contenido de la base de datos geográfica, esta última creada en ArcGIS™ Desktop.

ArcGIS™ Online es un SIG web de colaboración on-line que permite dentro de sus funcionalidades crear aplicaciones basadas en mapas. Forma parte del sistema ArcGIS™ (ESRI, 2017) y actualmente el costo de uso está incluido en la licencia de ArcGIS desktop.

La plataforma ArcGIS™ Online ha sido utilizada para crear y publicar las aplicaciones de mapas web de Ecocampus EAFIT.

## **2.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA**

### **2.2.1 Diseño del modelo de datos para Ecocampus EAFIT**

De acuerdo con Olaya en la primera fase de diseño de una base de datos se debe hacer un análisis de los datos que se van a utilizar, y como resultado del análisis se crea el modelo de datos que expresa la estructura y contenido de la base de datos (2014).

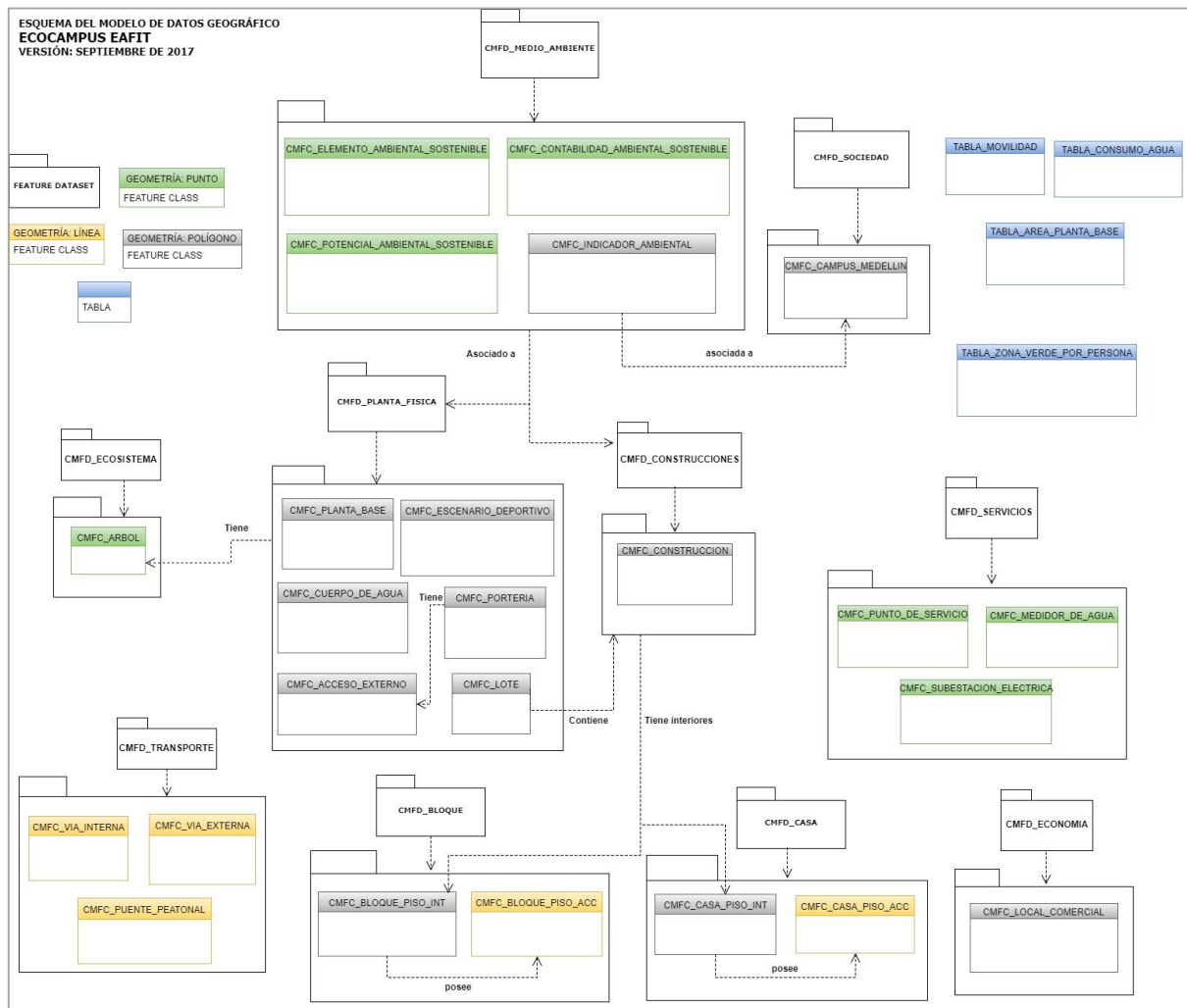
Para diseñar el modelo de datos del sistema Ecocampus EAFIT, se parte de un modelo de datos creado en el año 2014 y modificado en el 2016 por la docente Beatriz Susana Acosta del curso académico Sistemas de Información Geográfica. Dicho modelo fue utilizado para trabajar el campus universitario con los estudiantes de pregrado de las carreras de Ingeniería Civil y de Geología de la Universidad EAFIT®.

A lo anterior se suma la investigación sobre los temas relacionados a sostenibilidad ambiental, el estado del arte de sistemas de información geográfica de campus universitarios y temas sobre indicadores ambientales. Completándose con trabajo de campo para observar qué elementos de los revisados aplicaban para el campus de la Universidad EAFIT®.

Dada la importancia de la fase de diseño de todo sistema (Olaya, 2014), se consideró vital tener en cuenta al usuario final de Ecocampus EAFIT: el personal del Departamento de Planta Física involucrado en las actividades relacionadas con la gestión ambiental y el uso del espacio físico en la Universidad. Se convocaron varias reuniones con algunos coordinadores de diferentes áreas del Departamento referido, las cuales tenían como objetivo informar sobre el proyecto Ecocampus EAFIT, obtener otros requisitos, alcance y comentarios del proyecto Ecocampus EAFIT desde la experiencia y conocimiento de los participantes. De estas reuniones salieron varias ideas sobre qué datos eran necesarios y se obtuvieron archivos con información útil para el sistema.

Como resultado de la investigación, de las reuniones con personal de Planta Física, del modelo inicial usado en las clases de pregrado de Sistemas de Información Geográfica y del trabajo de campo; se obtuvo el siguiente esquema del modelo de datos para el

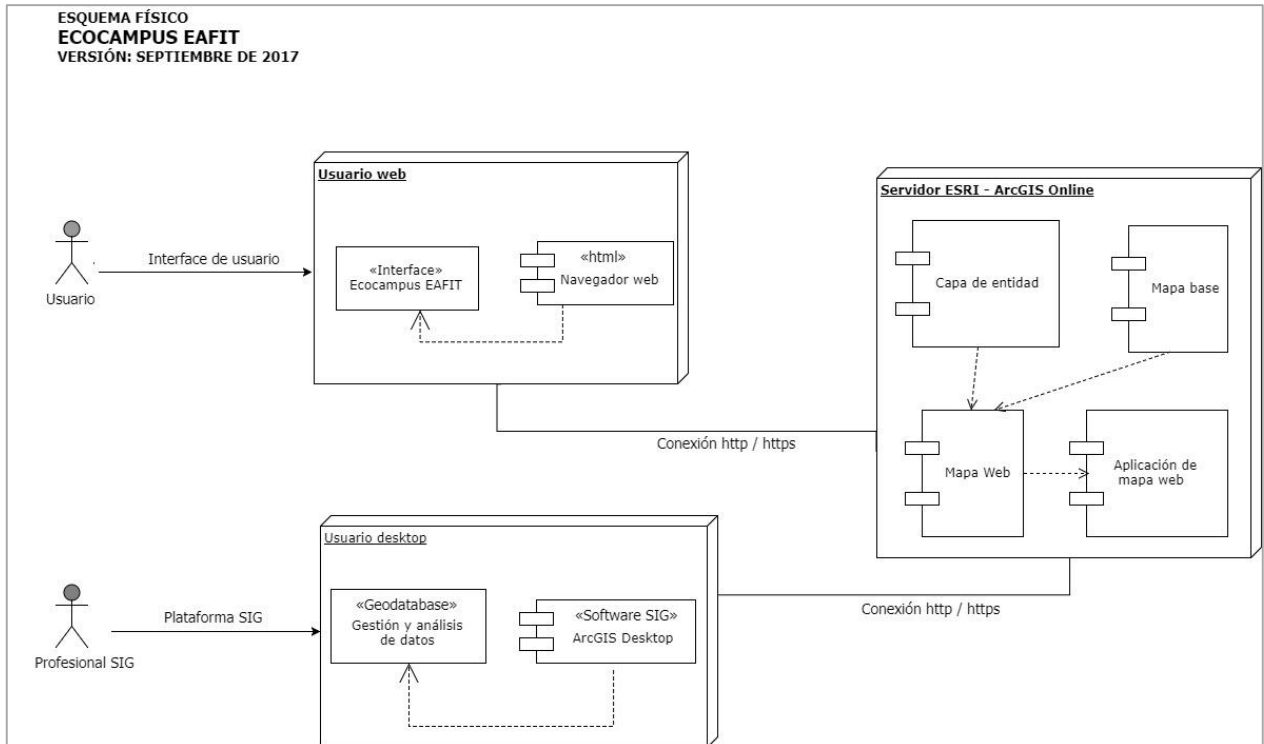
sistema Ecocampus EAFIT, presentado de forma completa en el ANEXO A de este documento y el cual puede ser revisado con más detalle en la documentación de este proyecto: MODELO\_DATOS\_ECOCAMPUS\_EAFIT.jpg.



**Figura 8.** Esquema del modelo de datos para Ecocampus EAFIT. Elaboración propia.

El modelo o esquema físico de un sistema muestra los componentes y su comportamiento en el momento del despliegue. “Es un mapa específico de la instalación física del sistema” (Sparx Systems, 2017).

En la siguiente figura se expone el esquema físico de los componentes que hacen parte del sistema Ecocampus EAFIT.



**Figura 9.** Esquema físico de Ecocampus EAFIT. Elaboración propia.

### 2.2.2 Fuente de datos

A partir del modelo de datos construido en la etapa de diseño del sistema, se procedió con la adquisición de los datos. Algunos ya existían, otros se crearon a partir de fuentes existentes y otros fue necesario levantarlos haciendo trabajo de campo.

Cabe resaltar la colaboración del personal del Departamento de Planta Física para proporcionar los datos relativos a infraestructura, a consumos de agua y de energía.

En la siguiente tabla se presentan las fuentes de los datos geográficos y alfanuméricos del sistema Ecocampus EAFIT.

**Tabla 8.** Fuente de datos de Ecocampus EAFIT.

DATOS	FORMATO	FUENTE
Planos de construcciones	DWG de Autodesk®	Lina Marcela Guzmán, Área de Construcciones y Reformas. Departamento de Planta Física
Planos de planta general del campus	DWG de Autodesk®	
Interiores de construcciones y accesos	GDB	Beatriz Susana Acosta Correa, Área de sistemas de información geográfica. Datos editados por estudiantes de pregrado del curso SIG
Inventario de árboles		
Pavimentos y espacios verdes		
Cuerpos de agua		
Escenarios deportivos		
Porterías y accesos		
Vías externas al campus		
Puntos de servicio		
Consumo de agua en la Universidad EAFIT®, según lectura de medidores controlados por la Universidad		
Medidores de agua de locales comerciales, relacionados en el informe PUEYRA (Programa de uso eficiente y racional del agua)	Excel	Yudy Marcela Valencia González supervisora de mantenimiento civil. Departamento de Planta Física
Consumo de agua y de energía en la Universidad EAFIT®, según facturas de Empresas Públicas de Medellín, años 2014, 2015 y 2016	Excel	Hamser Asprilla Sánchez de Gestión ambiental. Departamento de Planta Física
Cantidad de material reciclado años 2015 y 2016	Portal web EAFIT (HTML)	Página institucional. Gestión ambiental
Cantidad de estudiantes de pregrado y posgrado de la Universidad	PDF	Página institucional. Boletín estadístico
Cantidad de empleados directos de la Universidad	Portal web EAFIT (HTML)	Informe de gestión 2014 y 2016
Cartografía Base	Galería de mapas base de AcrGIS™	<i>Environmental Systems Research Institute -ESRI®.</i>

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se listan los datos que fueron creados a partir del trabajo de campo.

- Elementos ambientalmente sostenibles existentes en el campus EAFIT.
- Vías internas usadas para la movilidad dentro del campus.
- Puente peatonal que comunica al campus principal con el lote Parque los Guayabos.
- Puntos de georreferenciación del Campus EAFIT, levantados mediante GNSS, por la empresa ITAG Servicios Topográficos.
- Medidores de agua controlados por el Departamento de Planta Física.
- Propiedades ambientales de las edificaciones, asociadas como atributos a la entidad construcción.

### 2.2.3 Construcción de la base de datos y sistema de referencia por coordenadas

La herramienta ArcGIS™ elegida para crear la base de datos de Ecocampus EAFIT, utiliza una estructura de datos nativa para la edición y administración de información geográfica muy reconocida en el mundo SIG y denominada *Geodatabase*, constituida por un conjunto de *datasets* en los cuales se organiza la información espacial (ESRI, 2016).

Lo tipos de *Geodatabase* que permite crear ArcGIS™ son ( ESRI, 2016):

- **Geodatabase personal.** En este tipo de *Geodatabase* los *datasets* son almacenados en un archivo de formato .mdb de Microsoft Access. El tamaño máximo de la *Geodatabase* es de 500 MB y queda en el disco, solo un usuario puede editar la información por conexión.
- **Geodatabase de archivos.** Se caracteriza porque los *dataset* que conforman la *Geodatabase* están almacenados en una carpeta de archivos del PC, aunque se puede configurar para almacenar grandes volúmenes de datos, normalmente el tamaño máximo de cada archivo por *dataset* es de 1 TB. Permite trabajar con grupos pequeños de usuarios, pero solo uno puede hacer edición a la vez.

- **Geodatabase corporativa.** Los *datasets* pueden ser almacenados en diferentes Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD). Es conocida como *Geodatabase* multiusuario, ya que permite el acceso y edición de varios usuarios simultáneamente. Los SGBD con los que es compatible son: IBM DB2, IBM Informix, Microsoft SQL Server, Oracle y PostgreSQL.

### Elementos de la *Geodatabase*

Dentro de una *Geodatabase* se almacenan principalmente tres tipos de *dataset*: Clases de entidad, *dataset ráster* y tablas. Las clases de entidades son tablas que contienen atributos espaciales, los *dataset ráster* se utilizan para representar y administrar imágenes, y las tablas generalmente almacenan atributos descriptivos o datos no espaciales (Esri, 2016).

En ArcGIS™ es muy recomendado trabajar con *Feature Datasets* y *Feature Class* (clases de entidad), de tal forma que los primeros tienen como función principal imponer un marco geométrico y de referencia espacial común (ESRI, 2016) (Sistema de coordenadas), sirviendo para integrar espacial o temáticamente clases de entidades. Las clases de entidad al ir integradas dentro de los *Feature Datasets* obtienen automáticamente los atributos de área, perímetro o longitud según la geometría (Alonso, 2016).

Para crear la base de datos de Ecocampus EAFIT se utilizó la *Geodatabase* de archivos y dentro de ella se crearon varios *Feature Datasets*, todos ellos bajo el sistema de referencia por coordenadas MAGNA Colombia Bogotá WKID: 3116. Para nombrar los *Feature Datasets* se tuvo en cuenta la clasificación de las categorías temáticas de datos geoespaciales definidas en la Norma Técnica Colombiana NTC4611 (segunda actualización) 2011-04-13.

Las clases de entidad o *Feature Class* obedecen al modelo de datos creado en la fase de diseño del sistema. Para una mayor precisión en la ubicación de los elementos, se utilizaron puntos de control levantados dentro del campus mediante GNSS, por la

empresa ITAG Servicios Topográficos en el año 2016. La información técnica de dichos puntos de control se anexa en la documentación de este proyecto:

Metadatos\_PuntosControlGNSS.pdf

PtosGNSS\_GalileoInstruments.xlsx

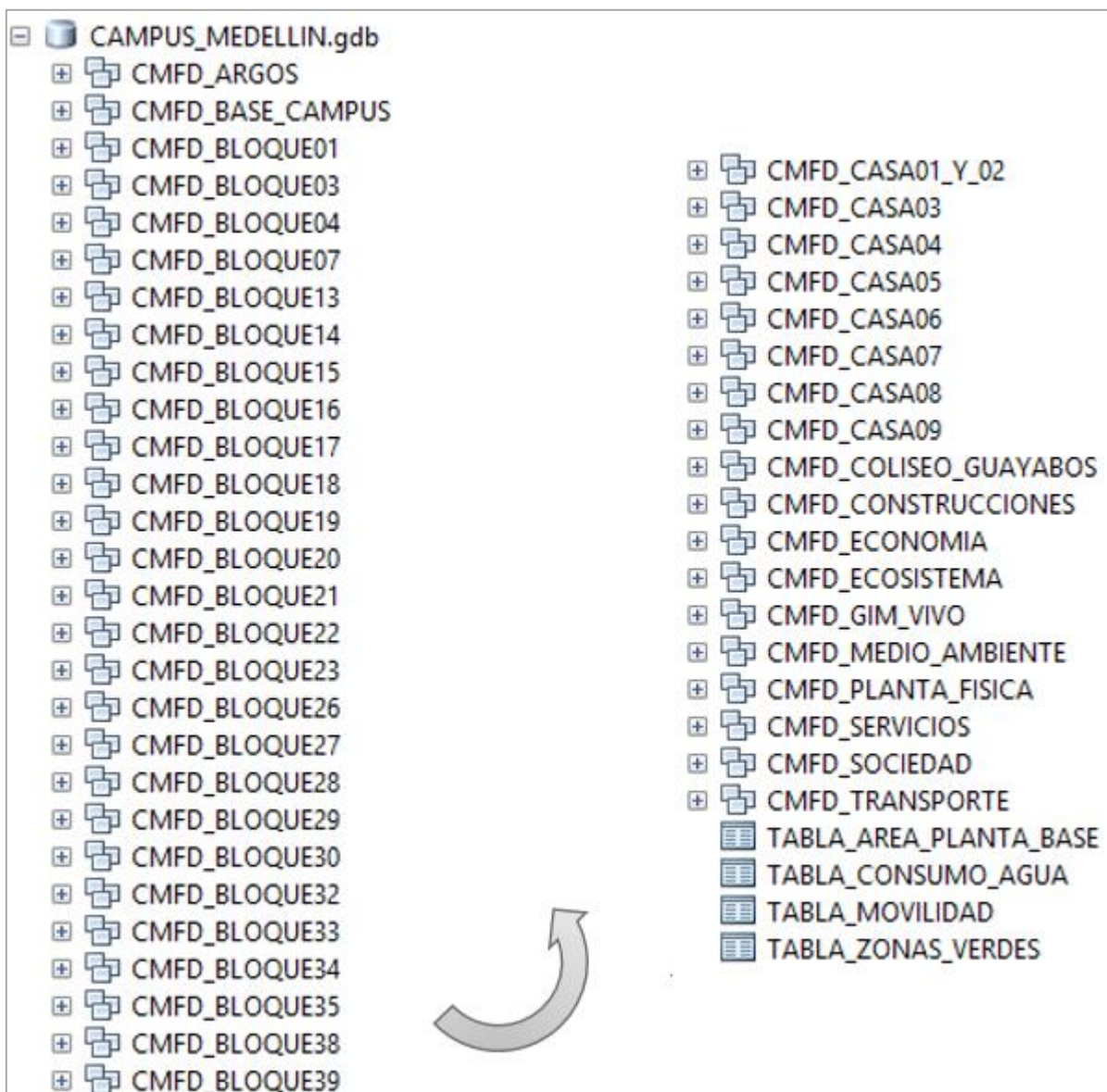
Los dominios utilizados en la base de datos están asociados en la documentación de este proyecto:

Dominios\_Ecocampus\_EAFIT .xlsx

De otra parte los indicadores ambientales desarrollados para el sistema fueron almacenados en tablas y *Feature Class* y están alojadas dentro de la *Geodatabase*.

### **Estructura de la GDB Ecocampus EAFIT**

En la siguiente imagen se presenta la estructura de la *Geodatabase* para el sistema Ecocampus EAFIT, creada con la herramienta ArcGIS™ versión 10.4:



**Figura 10.** Estructura de la Geodatabase Ecocampus EAFIT. Captura de pantalla.

## Metadatos

Los metadatos de una base de datos hacen referencia a la información de las características de los datos o contenido. Existen varios estándares de metadatos para la documentación de información cartográfica, creados por organismos estatales nacionales e internacionales. En el sistema Ecocampus EAFIT se utilizó el estándar de

metadatos *Content Standard for Digital Geospatial Metadata -CSDGM-*, traducido al español como el Estándar de contenidos para metadatos geoespaciales digitales, conocido como la norma de metadatos FGDC, aprobada en 1994 por el Comité Federal de Datos Geográficos, organismo de los Estados Unidos encargado de desarrollar la infraestructura nacional de datos espaciales.

El XML es el formato general aceptado para almacenar el contenido de los metadatos; sin embargo, los metadatos de los datos contenidos en la base de datos del sistema Ecocampus EAFIT están alojados dentro de la misma base de datos, dado que la herramienta ArcGIS™ permite asociar y almacenar dentro de la *Geodatabase* los metadatos y, también, permite exportarlos o convertirlos a otros formatos.

En las siguientes cuatro figuras se muestran ejemplos de los metadatos creados en la *Geodatabase* del sistema Ecocampus EAFIT:

#### Descripción de datos



The screenshot shows a web interface for metadata description. At the top, there are tabs for 'Contents', 'Preview', and 'Description', with 'Description' selected. Below the tabs are icons for 'Print', 'Edit', and 'Import'. The main content area features the title 'BASE DE DATOS ECOCAMPUS EAFIT' in blue, followed by a map of the campus. Below the map is a 'Tags' section with the text 'Campus, Universidad EAFIT, sostenibilidad, ambiental, ecocampus, espacio fisico'. The 'Summary' section states 'Base de datos del sistema ECOCAMPUS EAFIT.' The 'Description' section provides a detailed overview of the system's purpose and data sources.

**BASE DE DATOS ECOCAMPUS EAFIT**

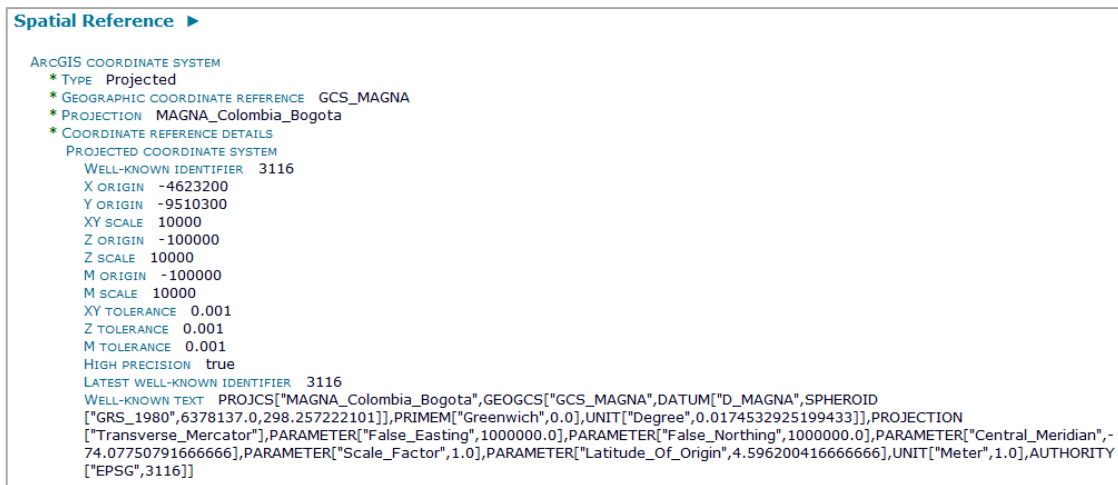
**Tags**  
Campus, Universidad EAFIT, sostenibilidad, ambiental, ecocampus, espacio fisico

**Summary**  
Base de datos del sistema ECOCAMPUS EAFIT.

**Description**  
Contiene la base de datos con la información requerida para el sistema EACOCAMPUS EAFIT, el cual tiene como objetivo:  
Servir como una solución informática, basada en herramientas SIG, que permita registrar, medir y verificar de forma integrada las políticas, planes y programas que reflejan el compromiso de la Universidad EAFIT ® con el medio ambiente y sus funciones sustantivas, en el campus sede Medellín-Colombia.  
Contiene datos relacionados a la infraestructura física, a elementos ambientales existentes en el campus universitario, e indicadores de sostenibilidad ambiental.  
Créditos de datos fuente:  
Departamento de Planta Física de la Universidad EAFIT®.  
Área de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad EAFIT®.  
Datos propios levantados en trabajo de campo.

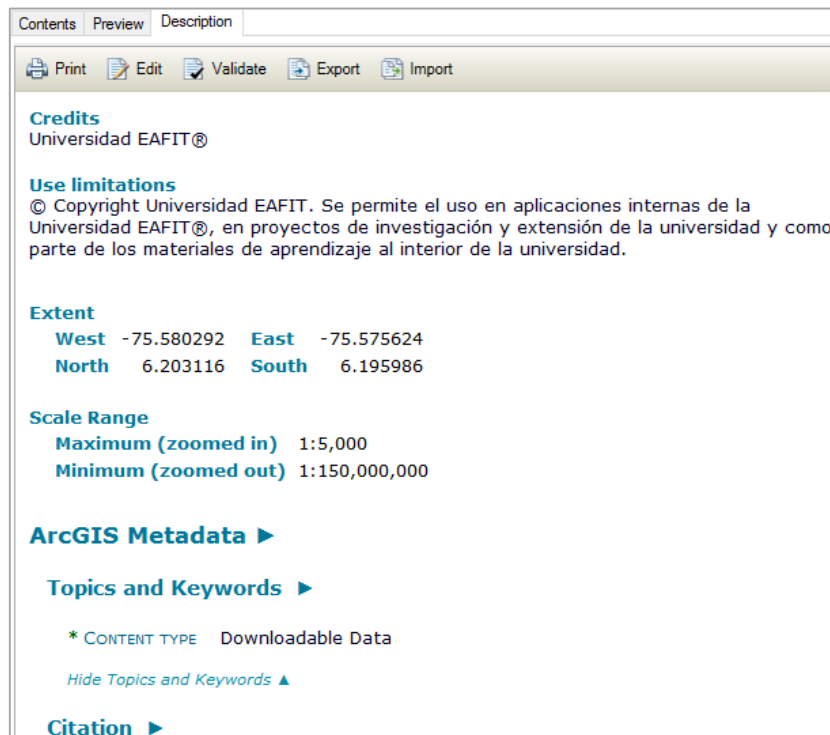
**Figura 11.** Metadatos de tipo descripción. Captura de pantalla

## Información de la Referencia espacial



**Figura 12.** Metadatos sobre la referencia espacial de los datos. Captura de pantalla

## Créditos y copyright



**Figura 13.** Metadatos de créditos y copyright. Captura de pantalla

## Atributos

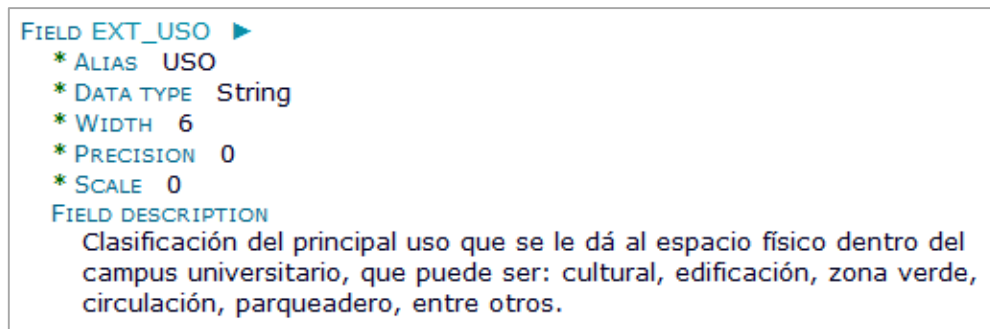


Figura 14. Metadatos de atributos. Captura de pantalla

### 2.2.4 Desarrollo de aplicaciones web

A partir de la base de datos en ArcGIS™ Desktop se configuran las diferentes capas de datos con simbología y etiquetas que favorezcan la visualización y se llevan a la nube en forma de “servicio” (Figura 15), usando como servidor web ArcGIS™ Online.

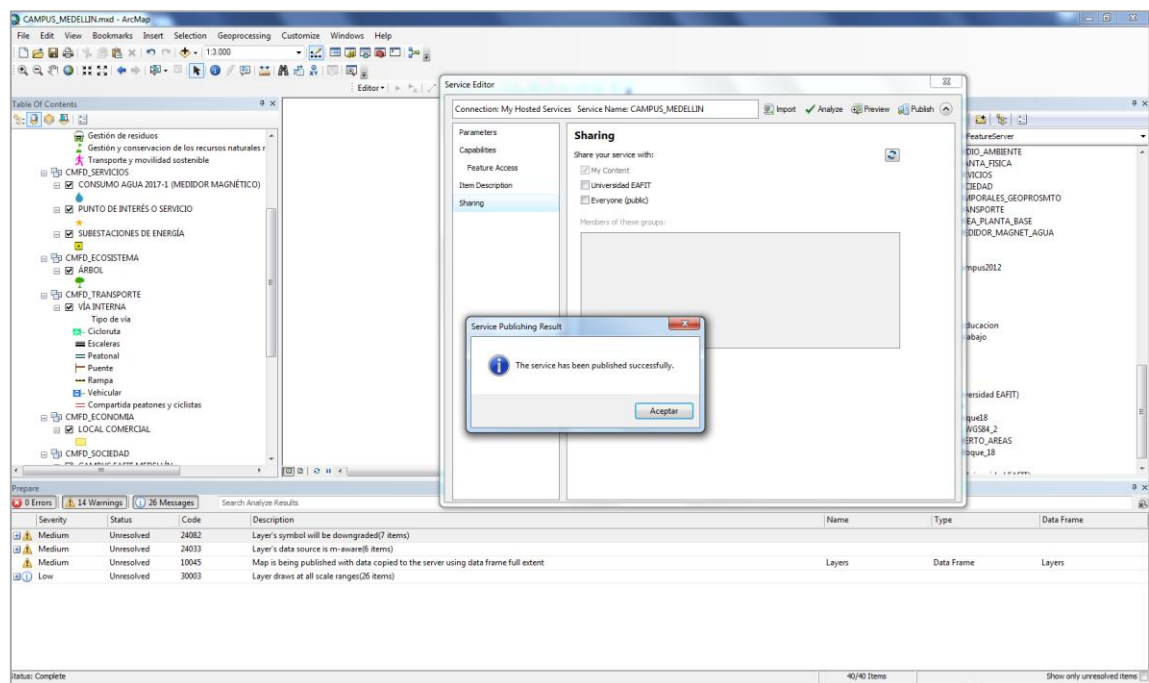


Figura 15. Publicación del servicio en ArcGIS Online. Captura de pantalla.

Sobre la plataforma tecnológica ArcGIS™ Online se crearon mapas web usando como mapa base el Lona gris claro mundial de la galería de *ESRI*®. Este mapa proporciona un fondo neutro con un tono de gris y pocas etiquetas, lo que hace que las capas servidas se vean en primer plano.

Las aplicaciones de mapa web se construyen usando plantillas predefinidas en la herramienta, teniendo como base los mapas web ya creados. La aplicación se configura de tal forma que facilite la interpretación y uso de la información geográfica por parte del usuario final.

Las aplicaciones web que se crearon son las siguientes:

- Ecocampus EAFIT. Aplicación principal, de contenido ambiental.
- Uso del espacio físico. Contiene la infraestructura física de las construcciones del campus universitario.
- Registro de consumo de agua 2017-2. Prueba piloto para el registro del consumo mensual de agua del segundo semestre del 2017.

Cada aplicación web cuenta con un manual de usuario que puede ser consultado en línea desde la misma aplicación; sin embargo, estos también hacen parte de la documentación de este proyecto. Siendo estos:

MANUAL DE USUARIO ECOCAMPUS EAFIT.pdf

MANUAL DE USUARIO USO DEL ESPACIO FÍSICO.pdf

MANUAL DE USUARIO REGISTRO DE CONSUMO DE AGUA.pdf

### **2.2.5 Evaluación de usabilidad de la aplicación Ecocampus EAFIT**

Considerando la importancia que tiene la aceptación del usuario final en términos de “amigabilidad” de la aplicación, se hizo una evaluación de la usabilidad de la aplicación principal Ecocampus EAFIT. Para esta se tuvieron en cuenta los indicadores, métricas y criterios definidos en la siguiente tabla (Largo Garcia y Marín Mazo, 2005) (ISO 25000, 2017):

**Tabla 9.** Métricas y criterios de evaluación de la aplicación web.

INDICADOR	MÉTRICAS	CRITERIOS
<b>Funcionalidad:</b> Capacidad de la aplicación de cumplir y proveer las funciones para satisfacer las necesidades declaradas e implícitas, cuando se usa en las condiciones especificadas.	<b>Exactitud</b>	Grado de exactitud: Capacidad de la aplicación para entregar cálculos y resultados con el grado de precisión requerido o esperado.
	<b>Seguridad</b>	Control de acceso: Disponibilidad de mecanismos para controlar el acceso a la aplicación.
	<b>Interoperabilidad</b>	Compatibilidad de datos: Capacidad de la aplicación para permitir exportar y usar los datos en otros sistemas. Estandarización en los datos: Uso de estructuras de datos o elementos de tipo estándar.
<b>Eficiencia:</b> Hace referencia al desempeño adecuado de la aplicación, de acuerdo con tiempos de respuesta y utilización de recursos.	<b>Comportamiento de tiempos</b>	Tiempo de procesamiento: El tiempo de respuesta y procesamiento de la aplicación en condiciones específicas.
<b>Usabilidad:</b> Capacidad de la aplicación para ser entendido, aprendido y usado de forma fácil y atractiva.	<b>Entendibilidad</b>	Facilidad de entendimiento: Capacidad que tiene la aplicación para permitir al usuario entender si es adecuada para sus necesidades, y cómo ser utilizada. Se tiene en cuenta la documentación y ayudas que tenga la aplicación.
	<b>Aprendibilidad</b>	Facilidad de aprendizaje: La forma como la aplicación permite que el usuario aprenda a usarla. También se considera la documentación.
	<b>Operabilidad</b>	Facilidad de operación: La manera como la aplicación permite al usuario operarla y controlarla. Protección contra errores de usuario: capacidad de la aplicación de proteger a los usuarios de cometer errores.
	<b>Atractividad</b>	Estética de la interfaz de usuario: Cualidades de la aplicación que la hacen ser agradable al usuario. Satisfacción con la aplicación: Respuesta del usuario a la interacción con la aplicación.

Fuente: elaboración propia con base en (Largo Garcia y Marín Mazo, 2005)  
(ISO 25000, 2017)

Se formularon preguntas para llevar a cabo la evaluación, definidas de acuerdo con los criterios a evaluar, con una escala de valores de 1 a 5. Para cada criterio evaluado se definió un nivel de conformidad. En la siguiente tabla se presentan estos elementos.

**Tabla 10.** Preguntas de evaluación de usabilidad de la aplicación web.

PREGUNTAS	ESCALA DE VALORES	NIVEL DE CONFORMIDAD
¿La aplicación entrega resultados de forma esperada y correcta?	5: Completamente de acuerdo 4: De acuerdo 3: Indiferente 2: En desacuerdo 1: Completamente en desacuerdo	Conforme si la evaluación es mayor a 3
¿La aplicación cuenta con mecanismos de control de acceso para el usuario?	5: Completamente de acuerdo 4: De acuerdo 3: Indiferente 2: En desacuerdo 1: Completamente en desacuerdo	Conforme si el resultado de la evaluación es superior a 3
<p>¿La aplicación brinda la posibilidad de exportar datos para ser usados en otros sistemas?</p> <p>¿La aplicación web sigue estándares o convenciones de diseño ampliamente aceptados?</p> <p>¿Usa estructuras de datos de tipo estándar?</p> <p>Ejemplo: mapas, nombre de elementos, unidades de medida, diseño de página.</p>	5: Completamente de acuerdo 4: De acuerdo 3: Indiferente 2: En desacuerdo 1: Completamente en desacuerdo	Conforme si el resultado de la evaluación es igual o superior a 3
¿El tiempo de respuesta y procesamiento de la aplicación es adecuado?	5: Completamente de acuerdo 4: De acuerdo 3: Indiferente 2: En desacuerdo 1: Completamente en desacuerdo	Conforme si el resultado de la evaluación es superior o igual a 3

PREGUNTAS	ESCALA DE VALORES	NIVEL DE CONFORMIDAD
¿Es fácil de entender y reconocer la estructura de la aplicación?  ¿La aplicación cuenta con manual de usuarios o ayudas que faciliten su utilización?	5: Completamente de acuerdo 4: De acuerdo 3: Indiferente 2: En desacuerdo 1: Completamente en desacuerdo	Conforme si el resultado de la evaluación es superior a 3
¿Es fácil de aprender a usar la aplicación?	5: Completamente de acuerdo 4: De acuerdo 3: Indiferente 2: En desacuerdo 1: Completamente en desacuerdo	Conforme si el resultado de la evaluación es superior a 3
¿Es fácil de operar y controlar la aplicación? ¿La aplicación protege al usuario de cometer errores?	5: Completamente de acuerdo 4: De acuerdo 3: Indiferente 2: En desacuerdo 1: Completamente en desacuerdo	Conforme si el resultado de la evaluación es superior a 3
¿Es agradable el diseño de la aplicación?  ¿Siente satisfacción al interactuar con la aplicación?	5: Completamente de acuerdo 4: De acuerdo 3: Indiferente 2: En desacuerdo 1: Completamente en desacuerdo	Conforme si el resultado de la evaluación es superior o igual a 3

Fuente: elaboración propia con base en (Largo Garcia y Marín Mazo, 2005)

Para evaluar la usabilidad de la aplicación web Ecocampus EAFIT, se tuvo en cuenta a 5 usuarios finales del sistema. Ellos son 3 personas del Departamento de Planta Física de la Universidad EAFIT®, que están involucrados en las actividades relacionadas con el medio ambiente o con la gestión de espacios e infraestructura del campus universitario, y a 2 personas que hacen parte del comité ambiental de la institución. Se utilizó un formulario de *Google® Drive* para compartir la encuesta de usabilidad con los usuarios. Dentro de la documentación de este proyecto se anexa el formulario con el nombre de:

EVALUACIÓN DE USABILIDAD ECOCAMPUS EAFIT.pdf

El resultado de la evaluación de usabilidad de la aplicación es CONFORME para todos los indicadores y criterios definidos. Cabe anotar que no todos los usuarios respondieron la encuesta. Las respuestas a la encuesta se puede ver en el ANEXO B de este documento y el documento completo de las respuestas hace parte de la documentación de este proyecto con el nombre de RESPUESTAS A EVALUACIÓN USABILIDAD ECOCAMPUS EAFIT.pdf

### 3. PRODUCTOS INFORMATIVOS

#### 3.1 BASE DE DATOS GEOGRÁFICA

Los datos necesarios para cumplir los objetivos propuestos para el sistema Ecocampus EAFIT se encuentran disponibles en la base de datos geográfica, la cual hace parte de los productos de este proyecto.

Nombre de la base de datos: CAMPUS\_MEDELLIN.gdb

Tipo de base de datos: *Geodatabase* de archivos, de la tecnología ArcGIS™ versión 10.4, compuesta por *datasets* almacenados en una carpeta de archivos.

En la siguiente tabla se describen los *datasets* almacenados en la base de datos del sistema Ecocampus EAFIT:

**Tabla 11.** *Datasets* contenidos en la base de datos.

NOMBRE DATASET	DESCRIPCIÓN
CMFD_BLOQUE / CASA	Contiene datos detallados sobre los interiores de las construcciones existentes en el campus EAFIT.
CMFD_BASE_CAMPUS	Contiene elementos usados como base para georreferenciar el campus, como el plano de planta física importado de formato CAD y puntos de control levantados mediante GNSS.
CMFD_CONSTRUCCIONES	Contiene datos sobre las construcciones existentes en el campus universitario sede Medellín.
CMFD_ECONOMIA	Contiene datos sobre los locales comerciales que existen en el campus EAFIT.
CMFD_ECOSISTEMA	Contiene datos de los árboles que fueron inventariados en noviembre del 2016.
CMFD_MEDIO_AMBIENTE	Contiene datos sobre los elementos ambientalmente sostenibles, información de la contabilidad ambiental que lleva la Universidad actualmente, indicadores ambientales y los elementos identificados como potencialmente sostenibles.
CMFD_PLANTA_FISICA	Contiene datos sobre la planta física general, tales como cuerpos de agua, escenarios deportivos, planta base y porterías.

NOMBRE DATASET	DESCRIPCIÓN
CMFD_SERVICIOS	Almacena datos sobre los puntos de interés o de servicio existentes en el campus EAFIT, medidores de agua, consumos de agua y las subestaciones eléctricas existentes en el campus.
CMFD_SOCIEDAD	Contiene la clase Campus_Medellin con información de la Universidad EAFIT® sede Medellín.
CMFD_TRANSPORTE	Almacena datos sobre la infraestructura de transporte y movilidad existente en el campus universitario.

Fuente: elaboración propia.

Las tablas almacenadas en la base de datos son las siguientes:

**Tabla 12.** Tablas contenidas en la base de datos.

NOMBRE TABLA	DESCRIPCIÓN
TABLA_AREA_PLANTA_BASE	Contiene la clasificación del espacio físico del campus universitario: Agua, espacio verde, construcciones y pavimento; cantidad de área (m <sup>2</sup> ) y su respectivo porcentaje.
TABLA_CONSUMO_AGUA	Almacena datos sobre el consumo de agua del primer semestre de 2017, según lectura de medidores controlados por el Departamento de Planta Física.
TABLA_MOVILIDAD	Contiene datos de las vías internas del campus EAFIT: clasificación por tipo de vía, cantidad según el tipo de vía, longitud (m) y porcentaje de existencia en el campus.
TABLA_ZONAS_VERDES	Tabla con el indicador de zona verde (m <sup>2</sup> ) por persona, para los años 2014, 2015 y 2016.

Fuente: elaboración propia

La información detallada sobre las clases y los datos se encuentran almacenados en la base de datos como metadatos.

### 3.2 INDICADORES AMBIENTALES

Se consideró importante crear indicadores que muestren de forma resumida los resultados y avances de las acciones que se adelantan en la Universidad, y que son útiles para los diferentes usuarios, dado que:

Los indicadores ambientales se utilizan para obtener información sobre el cumplimiento de las metas de gestión, y con ello establecer los logros y los avances registrados a partir de la ejecución de programas y proyectos ambientales. Medir la evolución de los procesos permite determinar el impacto real de las acciones sobre la calidad ambiental del área de estudio (Botía Flechas y Castro, 2011, p. 22).

Los indicadores ambientales están contenidos en la base de datos y en la aplicación web Ecocampus EAFIT. En la siguiente tabla se especifican:

**Tabla 13.** Indicadores ambientales.

NOMBRE DEL INDICADOR	DESCRIPCIÓN
Consumo de agua por persona	Presenta el consumo de agua (m <sup>3</sup> ) por persona en el campus EAFIT, sede Medellín, para los años 2014, 2015 y 2016. La fórmula usada en el indicador es: <i>Consumo de agua (m<sup>3</sup>) anual / número de personas.</i> El número de personas es la suma de estudiantes y empleados de la Universidad. Fuente de datos: Gestión ambiental – Departamento de Planta Física, página web institucional y el informe de gestión del 2014 y del 2016.

NOMBRE DEL INDICADOR	DESCRIPCIÓN
Consumo de energía por persona	<p>Muestra el consumo de energía (kWh) por persona en el campus EAFIT, sede Medellín, para los años 2014, 2015 y 2016.</p> <p>La fórmula para el indicador es:  <i>Consumo de energía (kWh) anual / número de personas.</i></p> <p>Fuente de datos: Gestión ambiental – Departamento de Planta Física, página web institucional y el informe de gestión del 2014 y del 2016.</p>
Zona verde por persona	<p>Presenta el cálculo de la zona verde (m<sup>2</sup>) por persona, en el campus EAFIT, sede Medellín, para los años 2014, 2015 y 2016.</p> <p>La fórmula usada es:  <i>Cantidad de zona verde (m<sup>2</sup>) / número de personas.</i></p> <p>La cantidad de zona verde que se está usando en el cálculo es la misma para todos los años.</p>
Indicador movilidad	<p>Presenta los tipos de vías existentes en el campus EAFIT, la longitud (m) y el porcentaje que representa cada tipo de vía dentro del campus universitario.</p> <p>La fórmula usada para el porcentaje es:  <i>Cantidad del tipo de vía (m) / cantidad total de vías en el campus (m) * 100</i></p>
Indicador áreas de planta base	<p>Muestra el espacio físico del campus EAFIT clasificado en: Agua, espacio verde, construcciones y pavimento. Cantidad de área (m<sup>2</sup>) y el porcentaje que representa cada tipo de espacio dentro del campus universitario.</p> <p>La fórmula usada para el porcentaje es:  <i>Cantidad de área de x tipo de espacio (m<sup>2</sup>) / cantidad total de área del campus (m<sup>2</sup>) * 100</i></p>

Fuente: elaboración propia.

Los valores hallados en los indicadores de consumo de agua y de energía están siendo objeto de estudio por parte de Lina Marcela Rozo León coordinadora de Servicios de Aseo, y Carlos Alberto Henao Quintero coordinador del Área de Mantenimiento. Ambos pertenecientes al Departamento de Planta Física, encargados de liderar la gestión del agua y de la energía en la Universidad. Los anteriores coordinadores afirman que

actualmente la Universidad EAFIT® no tiene un referente de consumo mínimo de agua ni de energía.

### 3.3 MAPAS TEMÁTICOS

Los mapas temáticos creados para el sistema Ecocampus EAFIT tienen la finalidad de indicar la ubicación y la distribución de elementos específicos en el campus, que permitan destacar patrones y las relaciones entre estos. En la siguiente tabla se describen:

**Tabla 14.** Mapas temáticos.

NOMBRE DEL MAPA	DESCRIPCIÓN
ZONA VERDE DEL CAMPUS	Teniendo en cuenta el área del campus (principal y Parque los Guayabos) este mapa presenta el % que corresponde a zonas verdes y su área en metros cuadrados.
INVENTARIO DE ÁRBOLES	Este mapa contiene la representación de la ubicación geográfica de los árboles del campus (principal y Parque los Guayabos).
ELEMENTOS AMBIENTALES	Este mapa contiene algunos elementos que soportan las acciones ambientales de la Universidad para conservar el medio ambiente, como las fontaneras, los medidores de agua, las subestaciones de energía y el pozo de agua subterránea.
DISEÑO DE TECHOS	Este mapa presenta el tipo de diseño de los techos de las construcciones del campus universitario (terraza, de dos aguas, de un agua y plancha).
MODALIDAD DE ENFRIAMIENTO	Este mapa muestra la modalidad de enfriamiento que se tiene al interior de las construcciones del campus universitario (Ventilación natural, aire acondicionado y ventilación natural, uso de ventiladores, aire acondicionado y uso de ventiladores, y aire acondicionado).

NOMBRE DEL MAPA	DESCRIPCIÓN
% INSTALACIÓN DE AIRE ACONDICIONADO	Este mapa presenta el % de instalación de aire acondicionado en las construcciones respecto a su área interior (0 %, 1 – 30 %, 31 – 60 %, 61 – 80 % y 81 – 100 %)
PARQUEADERO VEHICULAR Y DE BICICLETAS	Este mapa presenta el área de parqueaderos vehiculares (m <sup>2</sup> ) del campus universitario (principal y Parque los Guayabos) y la ubicación de los puntos de parqueo de bicicletas.
MEDIDORES DE AGUA – TODOS / MEDIDORES DE AGUA MAPA 1 DE 2 / MEDIDORES DE AGUA MAPA 2 DE 2	Estos mapas contienen la ubicación geográfica de los medidores de agua existentes en la Universidad y fueron utilizados para soportar el informe del Programa Uso Eficiente y Racional del Agua (PUEYRA) presentado por personal de gestión ambiental del Departamento de Planta Física al Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMBA).

Fuente: elaboración propia.

Los mapas temáticos se presentan en el ANEXO C de este documento y también hacen parte de la documentación como archivos JPG.

### 3.4 MAPAS INTERACTIVOS EN LÍNEA

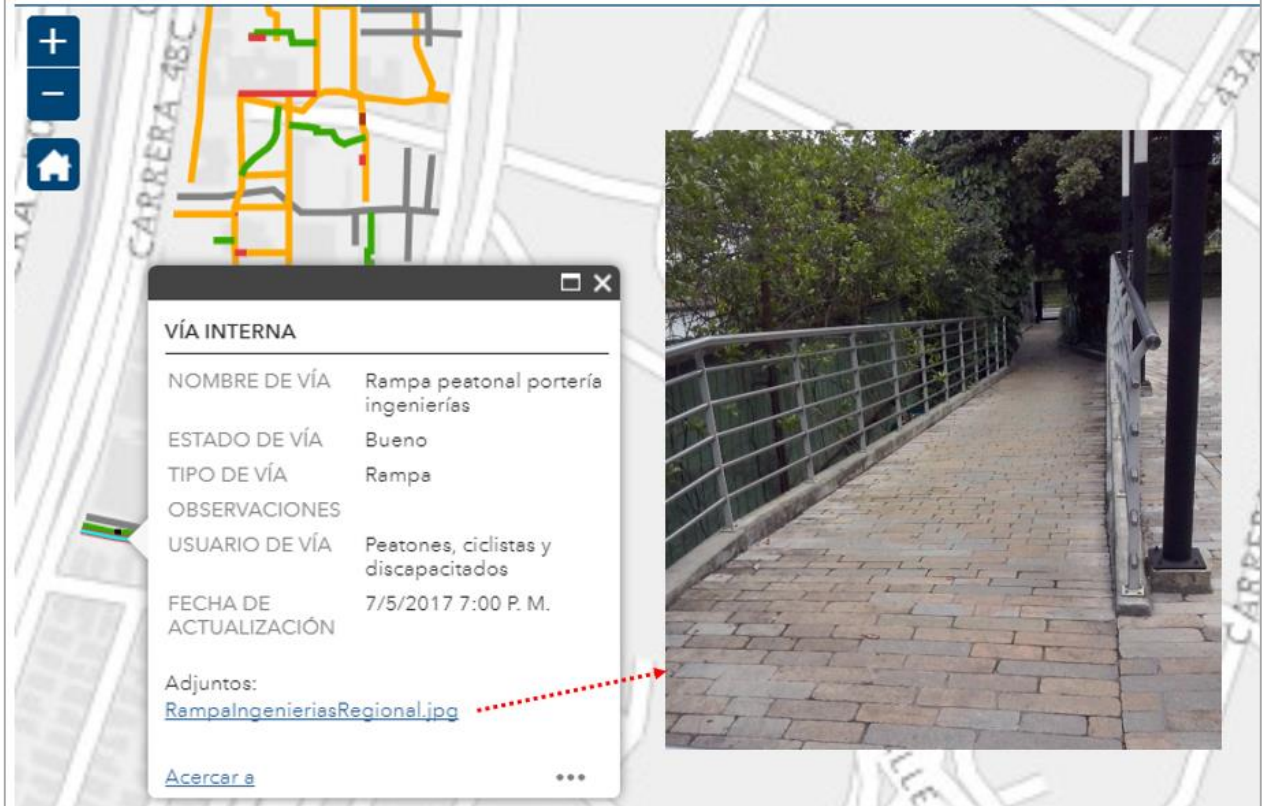
Las aplicaciones con mapas interactivos que hacen parte del sistema Ecocampus EAFIT son tres: dos de visualización y consulta, y una de edición de datos. A continuación se describe cada una y se muestran capturas de pantallas.

- **Aplicación web Ecocampus EAFIT.** Es la aplicación principal del sistema, en ella están contenidas las capas con información relativa a elementos e indicadores ambientales. Los objetos geográficos, en su gran mayoría, tienen fotografías como datos adjuntos.

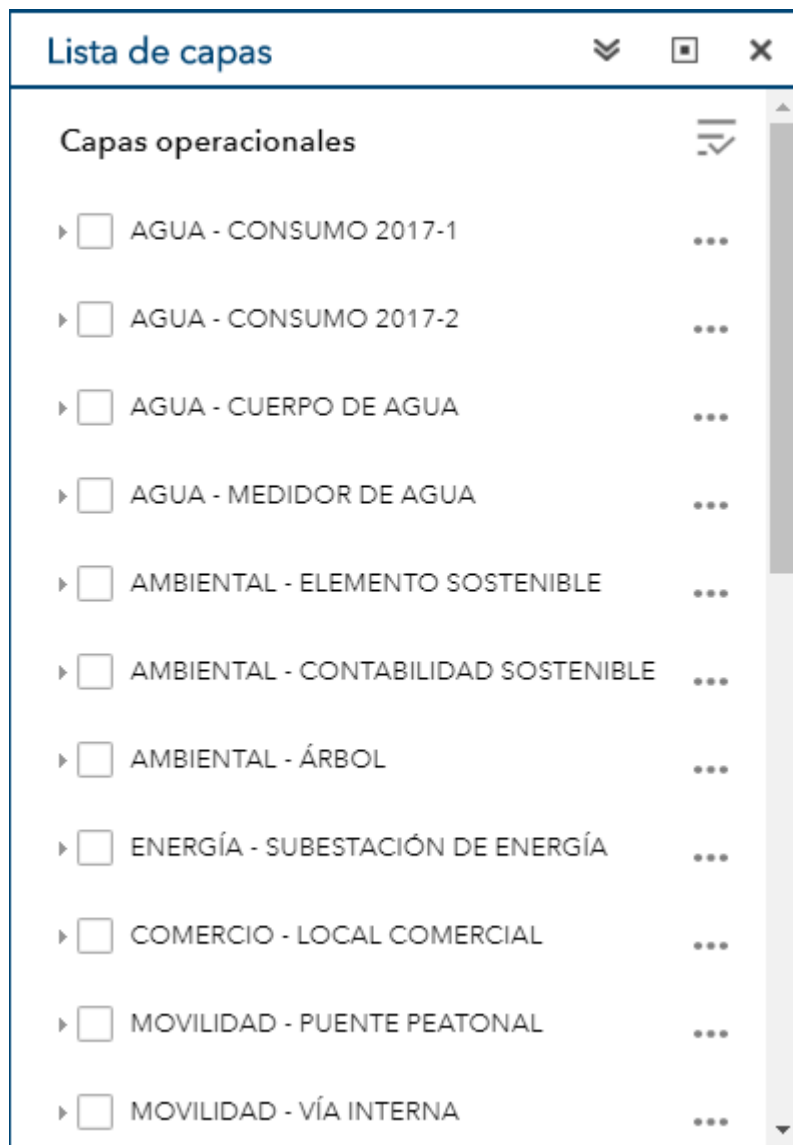
Las siguientes imágenes son capturas de pantallas de la aplicación:



Figura 16. Aplicación web Ecocampus EAFIT. Capturas de pantalla.



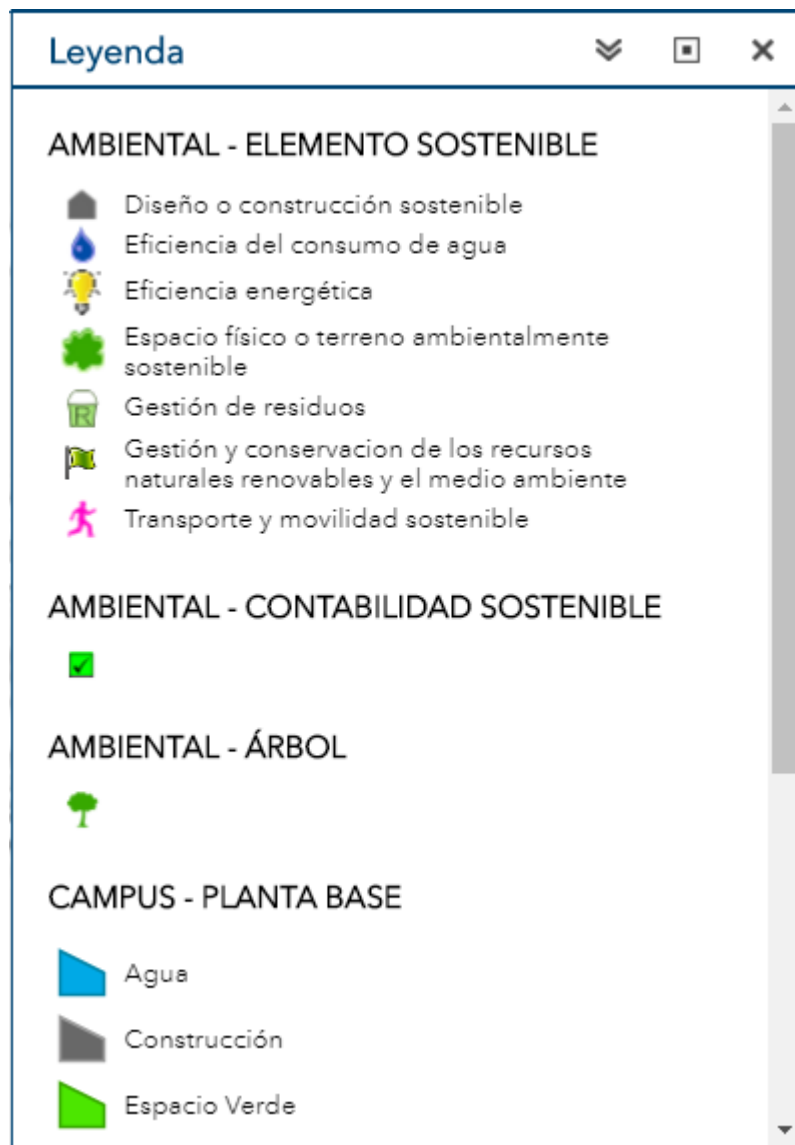
**Figura 17.** Muestra de información asociada a un elemento. Captura de pantalla.



**Figura 18.** Lista de capas operacionales de la aplicación -parte 1. Captura de pantalla.

- ▶  INFRAESTRUCTURA - ACCESO AL CAMPUS ...
- ▶  INFRAESTRUCTURA - PORTERÍA ...
- ▶  INFRAESTRUCTURA - ESCENARIO DEPORTIVO ...
- ▶  INFRAESTRUCTURA - CONSTRUCCIÓN ...
- ▶  INFRAESTRUCTURA - PASAJE JUNÍN ...
- ▶  SERVICIO - PUNTO DE INTERÉS ...
- ▶  CAMPUS - SEDE MEDELLÍN ...
- ▶  CAMPUS - PLANTA BASE ...

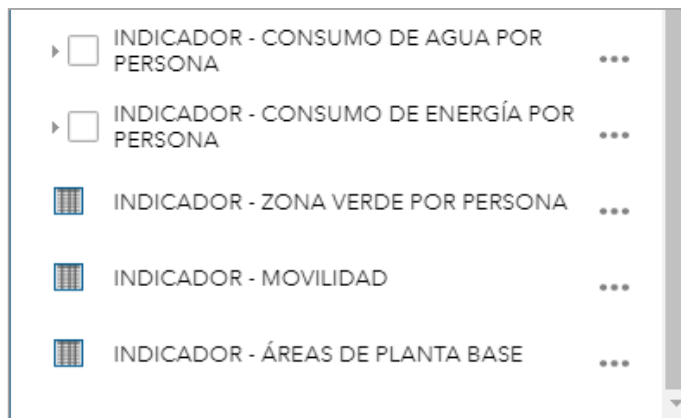
**Figura 19.** Lista de capas operacionales de la aplicación -parte 2. Captura de pantalla.



**Figura 20.** Leyenda de elementos ambientales. Captura de pantalla.



**Figura 21.** Filtros disponibles en la aplicación. Captura de pantalla.



**Figura 22.** Indicadores ambientales contenidos en la aplicación web. Captura de pantalla.

- **Aplicación web para el registro de consumo de agua.** Esta aplicación se creó como prueba piloto para que el personal de gestión ambiental del Departamento de Planta Física registre el consumo de agua del segundo semestre del 2017. Contiene la capa de los espacios de planta física y la capa de los 21 medidores de agua que son controlados por la Universidad EAFIT®.

En las siguientes dos imágenes se muestra la interfaz de usuario y una ventana de edición de atributos.

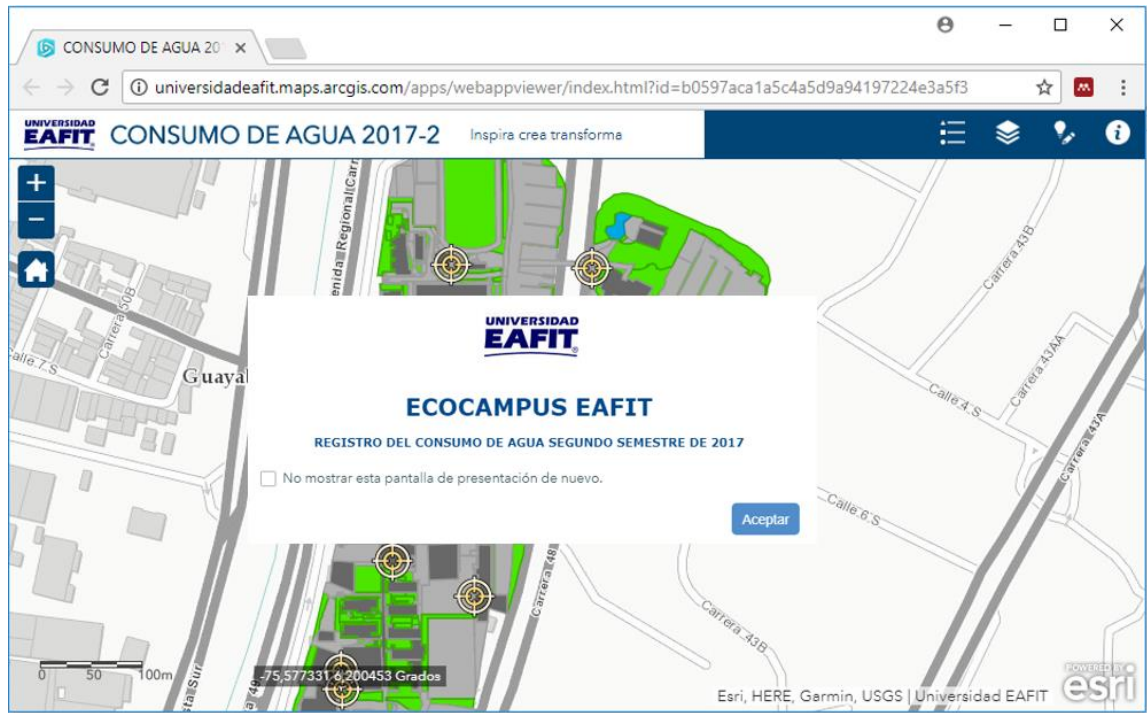


Figura 23. Aplicación web para el registro de consumo de agua. Captura de pantalla.

**Editar datos**

INGRESE EL CONSUMO DE AGUA EN EL CUADRO DE TEXTO DEL MES CORRESPONDIENTE

CONSUMO AGUA 2017-2 (MEDIDOR DE AGUA)

NOMBRE  
Medidor de agua bloque 40

NOMBRE SECUNDARIO  
Chiller

CONSUMO JULIO DE 2017 (m3)

CONSUMO AGOSTO DE 2017 (m3)

CONSUMO SEPTIEMBRE DE 2017 (m3)

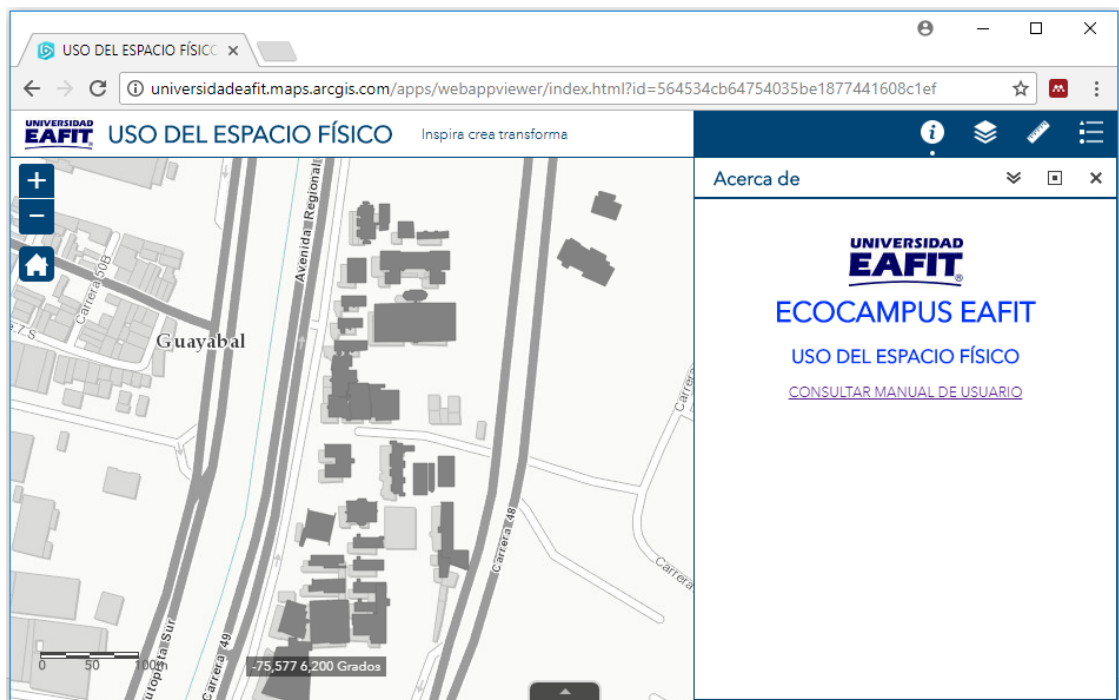
Figura 24. Ventana de edición de atributos. Captura de pantalla.

- **Aplicación web uso del espacio físico**

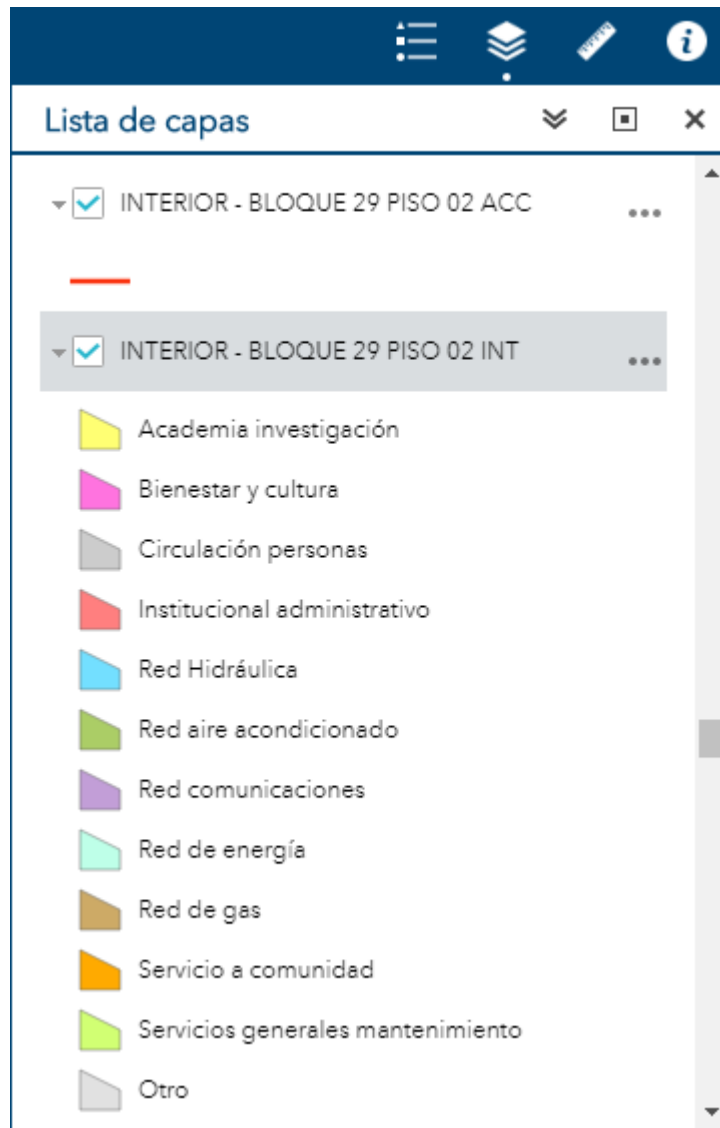
Esta aplicación contiene con alto grado de detalle la información de las construcciones, sus interiores y accesos a esos interiores. Útil para apoyar las actividades de los gestores de la infraestructura de la Universidad. Las capas que se incluyen son: capa con las bases de las construcciones que existen en la Universidad EAFIT® sede Medellín, capas con los interiores que tiene cada piso de cada construcción y capa con los accesos a los interiores de las construcciones.

Es importante anotar que debido a la alta cantidad de capas que almacena el sitio web, el tiempo de visualización al iniciar la aplicación no es óptimo.

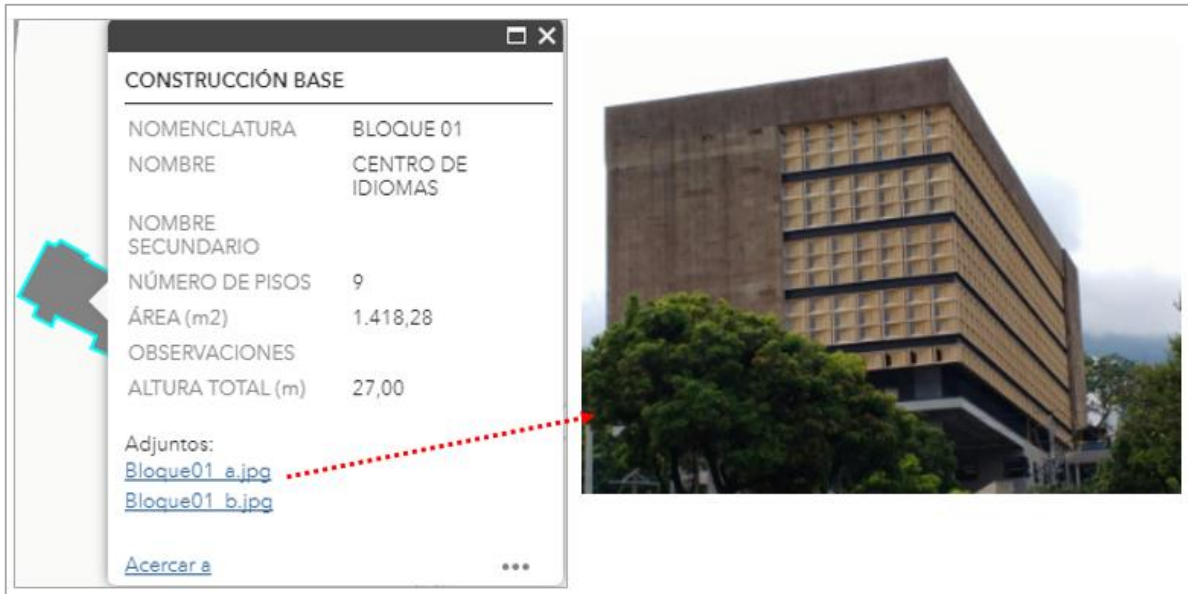
En las siguientes imágenes se muestra la interfaz de usuario:



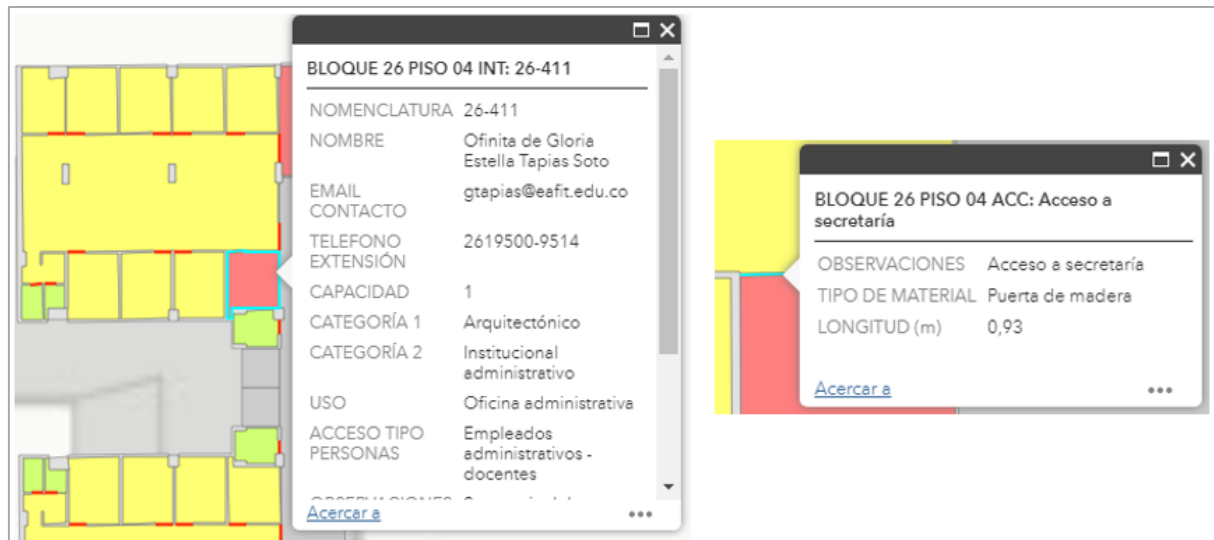
**Figura 25.** Aplicación web uso del espacio físico. Captura de pantalla.



**Figura 26.** Capas y simbologías. Captura de pantalla.



**Figura 27.** Información asociada a una construcción. Captura de pantalla



**Figura 28.** Información asociada a un interior y a un acceso dentro de una construcción. Captura de pantalla.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- ✓ Ecocampus EAFIT aporta al desarrollo y monitoreo de las estrategias y acciones ambientales adoptadas por la Universidad EAFIT® sede Medellín, porque la base de datos y las aplicaciones web para la visualización y la consulta de la información geográfica y de los indicadores, dan cuenta de la gestión en cada uno de los ejes ambientales.
- ✓ Las 3 aplicaciones que hacen parte de los productos informativos del sistema desarrollado son: Ecocampus Eafit, uso del espacio físico y registro del consumo de agua. Al interior de estas se consideran las siguientes gestiones:

### Gestión del agua

- Geolocalización de todos los elementos integrantes (medidores de agua, tanques de almacenamiento de agua de lluvia y pozo de captación de agua subterránea), formalizando el inventario que refleja el patrón espacial que es a la vez la base de operación, mantenimiento y planeación.
- Registros asociados a los elementos geolocalizados, como consumo mensual de agua, capacidad, responsable de supervisión, etc. Proporcionan un monitoreo puntual y general, y el cálculo de indicadores ambientales.
  - ① El consumo de agua por persona (estudiantes y empleados) para los años 2014, 2015 y 2016 arrojó valores de 10,09 m<sup>3</sup>; 10,54 m<sup>3</sup> y 8,54 m<sup>3</sup> respectivamente.
- Trazabilidad del consumo y gestión integral del agua.

### Gestión energética

- Geolocalización de elementos tipo: panel solar, calentador solar, subestaciones eléctricas que constituyen un inventario que refleja el patrón espacial que es a la vez la base de operación, mantenimiento y planeación.
- Registros asociados a los elementos geolocalizados, como consumo de energía anual en el campus. Proporcionan un monitoreo general y el cálculo de indicadores ambientales.

① El consumo de energía por persona (estudiantes y empleados) para los años 2014, 2015 y 2016 arrojó valores de 520,08 kWh, 505,57 kWh, y 462,7 kWh respectivamente.

- Trazabilidad del consumo de energía en la Universidad.

### **Gestión y minimización de residuos**

- Geolocalización de elementos tipo: contenedores de productos posconsumo, fontaneras y otros. Constituyen evidencia de cultura ambiental para la comunidad.
- Registros asociados al campus como: peso de material reciclado por año, metros cúbicos de material vegetal no llevados al relleno sanitario y la disminución del número de botellas plásticas que han dejado de ser utilizadas por el uso de fontaneras. Estos prueban el resultado de las acciones ambientales institucionales.

### **Diseño, ordenación urbana y construcción sostenible**

- Caracterización de la infraestructura física al interior del campus georreferenciado, en los diferentes aspectos de diseño y construcción sostenible.
- Registros asociados a cada construcción, como: sistema de enfriamiento, porcentaje de instalación de aire acondicionado, modalidad de techo, tipo de

acceso y circulación. Miden en general la condición de sostenibilidad ambiental de sus edificaciones.

A la fecha se tienen los siguientes indicadores:

- ① El porcentaje de edificaciones calificadas con 5 (en una escala de 1 a 5) como sostenibles por su modalidad de enfriamiento es de 15 %.
  - ① Respecto al uso de aire acondicionado un 17,5 % de las construcciones tienen instalación por debajo del 30 % respecto a su área interior.
  - ① Del total de edificaciones el 7,5 % tiene un diseño de techos que lo hace sostenible (tipo: terraza o jardín)
  - ① Del área del campus un 25 % corresponde a zona verde, que alberga fauna y flora.
  - ① Del área del campus un 10 % corresponde a escenarios deportivos destinados al bienestar de la comunidad.
  - ① Del área del campus un 22 % corresponde a zona de parqueadero vehicular.
- Dinámica de la infraestructura ambientalmente sostenible.

### **Gestión y conservación del medio ambiente**

- Geolocalización del inventario arbóreo. Su importancia radica en ser hábitat de fauna y flora y, adicionalmente, es insumo en estudios, informes y solicitudes ambientales dirigidas a entidades reguladoras.
  - ① En el campus (principal y Parque los Guayabos) que ocupa un área de 126.003,57 m<sup>2</sup> existen sembrados 886 árboles.

- Geolocalización de elementos destinados a la conservación de la fauna, como son: comederos de pájaros y de gatos.

### **Gestión de la movilidad y el transporte**

- Caracterización de las vías internas del campus según el uso: peatón, bicicleta o vehículo; y su estado general.
  - ① Teniendo en cuenta la longitud total de vías internas en sus diferentes usos, se tiene: 13,1 % peatonales, 0% para bicicleta exclusivamente, 49,8 % compartidas entre peatones y bicicletas, y 37 % vehiculares.
- ✓ La base de datos, las aplicaciones web y los mapas temáticos constituyen una herramienta eficiente para apoyar las actividades de gestión de espacios y presentación de informes a nivel interno y a entidades reguladoras como el Concejo Nacional de Acreditación -CNA-.
- ✓ Contar con un sistema de información geográfica en la Universidad EAFIT® sede Medellín, reduce esfuerzos en las áreas de trabajo de la institución, permite integrar, compartir y publicar información procedente de varios procesos y distintas dependencias.
- ✓ El modelo de datos y todo el desarrollo Ecocampus EAFIT, sus productos y documentación, se constituyen como soporte para la evolución del sistema a futuro y como guía para el desarrollo de aplicaciones similares en otras entidades.

## RECOMENDACIONES

En la Universidad EAFIT® se dan constantemente cambios relativos a la implementación de acciones ambientales y a reformas en la estructura física o del entorno del campus. Dada la naturaleza de la dinámica en el campus, se recomienda la actualización periódica de la base de datos y de las aplicaciones web. Lo anterior es viable porque se cuenta con personal calificado en los temas de sistemas de información geográfica y ambiental, así como con infraestructura tecnológica instalada y mantenida en el tiempo, debido a las funciones sustantivas de la Universidad.

El cambio de tecnología es inevitable, por lo que se recomienda en la medida de lo posible tomar medidas para seguir el ritmo de este avance, por ejemplo, el cambio en las versiones del software ArcGIS™ Desktop y modificaciones en la plataforma ArcGIS Online.

Se sugiere ampliar el alcance del proyecto y, en otra fase, trabajar en la ubicación exacta de redes hidráulicas, sanitarias, de gas y eléctricas existentes en el campus, para incluirlas en el sistema Ecocampus EAFIT. Específicamente se sugiere asociar información respecto a: la ubicación y clasificación de la iluminación (puede ser tipo de iluminación dominante por bloque o por piso), el porcentaje del campus que está contralado por sistemas de iluminación inteligente, y la ubicación de sistemas de riego de jardín en el campus.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Correa, B. S. (2014). Generalidades de datos geospaciales [Material de clase]. Diplomado en Sistemas de Información Geográfica. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Alba Hidalgo, D., Barbeitos Alcántara, R., Teresa Barral Silva, M., Benayas del Álamo, J., Blanco Heras, D., Domènech Antúnez, X., ... Ysern Comas, P. (2012). Estrategias de sostenibilidad y responsabilidad social en las universidades españolas: una herramienta para su evaluación. *Profesorado: Revista de currículum y formación del profesorado*, 16(2), 59–75. Recuperado a partir de <http://www.ugr.es/~recfpro/rev162ART5.pdf>
- Alcaldía de Medellín. (2017). Sistema de Información Ambiental de Medellín SIAMED. Recuperado 16 de septiembre de 2017, a partir de [https://www.medellin.gov.co/servicios/siamed\\_portal/siamed.hyg](https://www.medellin.gov.co/servicios/siamed_portal/siamed.hyg)
- Alonso, D. (2016). MappingGIS. 10 motivos para decidirte a trabajar con geodatabases de ESRI. Recuperado 23 de agosto de 2016, a partir de [http://mappinggis.com/2016/06/trabajar-geodatabases-esri/?utm\\_source=MappingGIS+Newsletter&utm\\_campaign=7911dfec0d-Newsletter+-+Julio+2016&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_23f8ca3f39-7911dfec0d-94333757](http://mappinggis.com/2016/06/trabajar-geodatabases-esri/?utm_source=MappingGIS+Newsletter&utm_campaign=7911dfec0d-Newsletter+-+Julio+2016&utm_medium=email&utm_term=0_23f8ca3f39-7911dfec0d-94333757)
- Botella Plana, A., Muñoz Bollas, A., Rodríguez Lloret Jesús, Olivella González Rosa, Olmedillas Hernandez, J. C., y Pérez Navarro, A. (2011). *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática* (Primera ed). Barcelona, España: Editorial UOC. Recuperado a partir de <http://ezproxy.eafit.edu.co:2233/visor/20241>
- Botía Flechas, C. J., y Castro, L. Á. (2011). Sistema de indicadores para el seguimiento de proyectos ambientales aplicado a procesos de recuperación y restauración ambiental de predios mineros. *Revista de Topografía Azimut*, 3(0), 16–30. Recuperado a partir de

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/azimut/article/view/4056/5720>

Castro Benavides, L. M., Cardona Torres, S. A., Rivera Valencia, D. M., y Vila Ortega, J. J. (2011). Planeación, análisis y diseño del SIG del campus de la universidad del Quindío. *Ventana Informática*, (25), 173–188. Recuperado a partir de <http://revistasum.umanizales.edu.co/ojs/index.php/ventanainformatica/article/view/122/185>

Centro de Información de las Naciones Unidas. (2017). Medio ambiente y desarrollo sostenible. Recuperado 19 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.cinu.mx/temas/medio-ambiente/medio-ambiente-y-desarrollo-so/>

Environmental Systems Research Institute. (2016). ArcGIS for desktop. Administrar datos. ¿Qué es una geodatabase? Recuperado 10 de septiembre de 2016, a partir de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/gdb-architecture/what-is-a-geodatabase.htm>

Environmental Systems Research Institute. (2017). Ayuda de ArcGIS Online. ¿Qué es ArcGIS Online? Recuperado 13 de septiembre de 2017, a partir de <http://doc.arcgis.com/es/arcgis-online/reference/what-is-ago1.htm>

Environmental Systems Research Institute, ArcGIS Resource center. (s. f.). ArcGIS Resource Center. ¿Qué es ArcGIS? Recuperado 13 de septiembre de 2017, a partir de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

Environmental Systems Research Institute, ArcGIS Resource center. (s. f.). Tres representaciones fundamentales de capas de información geográfica. Recuperado 15 de septiembre de 2016, a partir de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000n000000.htm>

Environmental Systems Research Institute ESRI. (2017). Mapas web, ayuda de ArcGIS Online. Recuperado 11 de octubre de 2017, a partir de

<http://doc.arcgis.com/es/arcgis-online/reference/what-is-web-map.htm>

Environmental Systems Research Institute, ESRI Colombia. (2017). Casos de éxito. Sistema de información territorial del municipio de Medellín.

Recuperado 15 de septiembre de 2017, a partir de [http://www.esri.co/Nosotros/Casos\\_exito/Gobierno/Site.php](http://www.esri.co/Nosotros/Casos_exito/Gobierno/Site.php)

Escobar, D. (2011). Sistemas de información geográfica. Módulo didáctico.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. Bogotá D.C. Recuperado 10 de agosto de 2016, a partir de [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358031/Escobar\\_2011\\_SIG.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358031/Escobar_2011_SIG.pdf)

Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital IDECA. (s. f.). Norma Técnica Colombia de Metadatos Geográficos. Recuperado 11 de octubre de 2017, a partir de <https://www.ideca.gov.co/es/node/290>

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR. (2014). Sistema de información ambiental marina SIAM. Recuperado 15 de septiembre de 2017, a partir de <http://siam.invemar.org.co/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, Telecentro regional en tecnologías espaciales. (s. f.). Capas vectorial y raster. Recuperado 15 de septiembre de 2016, a partir de [http://geoservice.igac.gov.co/contenidos\\_telecentro/fundamentos\\_sig/img/lmg\\_semana\\_2\\_baja/capas-raster-vectorial\\_retocada.jpg](http://geoservice.igac.gov.co/contenidos_telecentro/fundamentos_sig/img/lmg_semana_2_baja/capas-raster-vectorial_retocada.jpg)

ISO 25000. (2017). Portal ISO 25000. Calidad del producto software. Recuperado 23 de septiembre de 2017, a partir de <http://iso25000.com/>

Jardín Botánico de Bogotá. (2017). Sistema de información para la gestión del arbolado urbano. Recuperado 16 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.jbb.gov.co/index.php/sigau>

Largo Garcia, C. A., y Marín Mazo, E. (2005). Guía técnica para evaluación de software. Recuperado 23 de agosto de 2017, a partir de

<http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/mod/page/view.php?id=140730>

Naciones Unidas. (2012). Documento final de la conferencia de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible: El futuro que queremos. Recuperado 26 de septiembre de 2017, a partir de [https://rio20.un.org/sites/rio20.un.org/files/a-conf.216-l-1\\_spanish.pdf.pdf](https://rio20.un.org/sites/rio20.un.org/files/a-conf.216-l-1_spanish.pdf.pdf)

Olaya, V. (2014). *Sistemas de información geográfica*. Autor. Recuperado a partir de <http://volaya.github.io/libro-sig/>

Quiroz Ortuño, Y. (2010). Los SIG como herramienta para la toma de decisiones en la solución de problemas ambientales y dentro de la formación profesional en ciencias ambientales. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 14(41), 33–40. Recuperado a partir de [http://www.utm.mx/edi\\_anteriores/temas41/2NOTAS\\_41\\_2.pdf](http://www.utm.mx/edi_anteriores/temas41/2NOTAS_41_2.pdf)

Ramírez sánchez, R. (2012). La educación superior para el desarrollo sostenible. En *xii Coloquio internacional de gestión universitaria* (pp. 1–22). Veracruz, Mexico: Universidad Veracruzana. Recuperado a partir de <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/97740?show=full>

Rivas Marín, M. I. (2011). Modelo de sistema de gestión ambiental para formar universidades ambientalmente sostenibles en Colombia. *Gestión y ambiente*, 14(1), 151–162. <https://doi.org/ISSN 2357-5905>

Santovenia Díaz, J., Tarragó Montalvo, C., y Cañedo Andalia, R. (2009). Sistemas de información geográfica para la gestión de la información. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud (ACIMED)*, 20(5), 72–75. Recuperado a partir de [http://www.bvs.sld.cu/revistas/aci/vol20\\_5\\_09/aci071109.pdf](http://www.bvs.sld.cu/revistas/aci/vol20_5_09/aci071109.pdf)

Servicio geológico colombiano. (2017). Sistema de información de movimientos en masa - SIMMA. Recuperado 16 de septiembre de 2017, a partir de <http://simma.sgc.gov.co/#/>

Sparx Systems. (2017). Enterprise Architect - Modelo Físico. Recuperado 11 de

octubre de 2017, a partir de

[http://www.sparxsystems.com.ar/resources/tutorial/physical\\_models.html](http://www.sparxsystems.com.ar/resources/tutorial/physical_models.html)

Tomlinson, R. (2007). *Pensando en el SIG* (Tercera Ed). California. Estados Unidos de América: ESRI Press.

UI Greenmetric. (2017). Guía UI greenmetric world university ranking 2017. Editada en español por la Universidad de Navarra. Recuperado 24 de septiembre de 2017, a partir de [http://greenmetric.ui.ac.id/wp-content/uploads/2015/07/UI-GreenMetric-Guideline-2017\\_ESP-Rev.-2.pdf](http://greenmetric.ui.ac.id/wp-content/uploads/2015/07/UI-GreenMetric-Guideline-2017_ESP-Rev.-2.pdf)

Ull, M. ., Martínez Agut, M. P., Piñero, A., y Aznar Minguet, P. (2010). Análisis de la introducción de la sostenibilidad en la enseñanza superior en Europa: compromisos institucionales y propuestas curriculares. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 7(Extraordinario), 413–432. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/html/920/92013009020/>

United Nations Educational Scientific and Cultural Organization [UNESCO]. (1998). Declaración mundial sobre la educación superior en el siglo XXI: Visión y acción. Recuperado 18 de septiembre de 2017, a partir de [http://www.unesco.org/education/educprog/wche/declaration\\_spa.htm](http://www.unesco.org/education/educprog/wche/declaration_spa.htm)

United Nations Educational Scientific and Cultural Organization UNESCO. (2017). Sobre la UNESCO. Recuperado 25 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.unesco.org/new/es/unesco/about-us/who-we-are/introducing-unesco/>

Universidad EAFIT. (2015). Plan Maestro 2024. Recuperado 23 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.eafit.edu.co/campus-eafit/acerca-de/Paginas/plan-maestro-2024.aspx>

Universidad EAFIT. (2017). Somos EAFIT junio-julio. Medellín, Colombia. Recuperado a partir de <http://entrenos.eafit.edu.co/noticias/boletin-somos/Documents/Somos-junio-julio-2017-web.pdf>

Universidad EAFIT, Consejo Directivo de la Universidad. Reglamento de contratación de la Universidad EAFIT (2014). Recuperado a partir de <http://www.eafit.edu.co/institucional/reglamentos/Documents/REGLAMENTO-DE-CONTRATACION-DE-LA-UNIVERSIDAD-EAFIT.pdf>

Universidad EAFIT, Consejo Superior. (2012). Estatutos generales. Recuperado 20 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.eafit.edu.co/institucional/info-general/Documents/EstatutosUniversidad.pdf>

# ANEXOS

## ANEXO A. ESQUEMA DE MODELO DE DATOS PARA ECOCAMPUS EAFIT

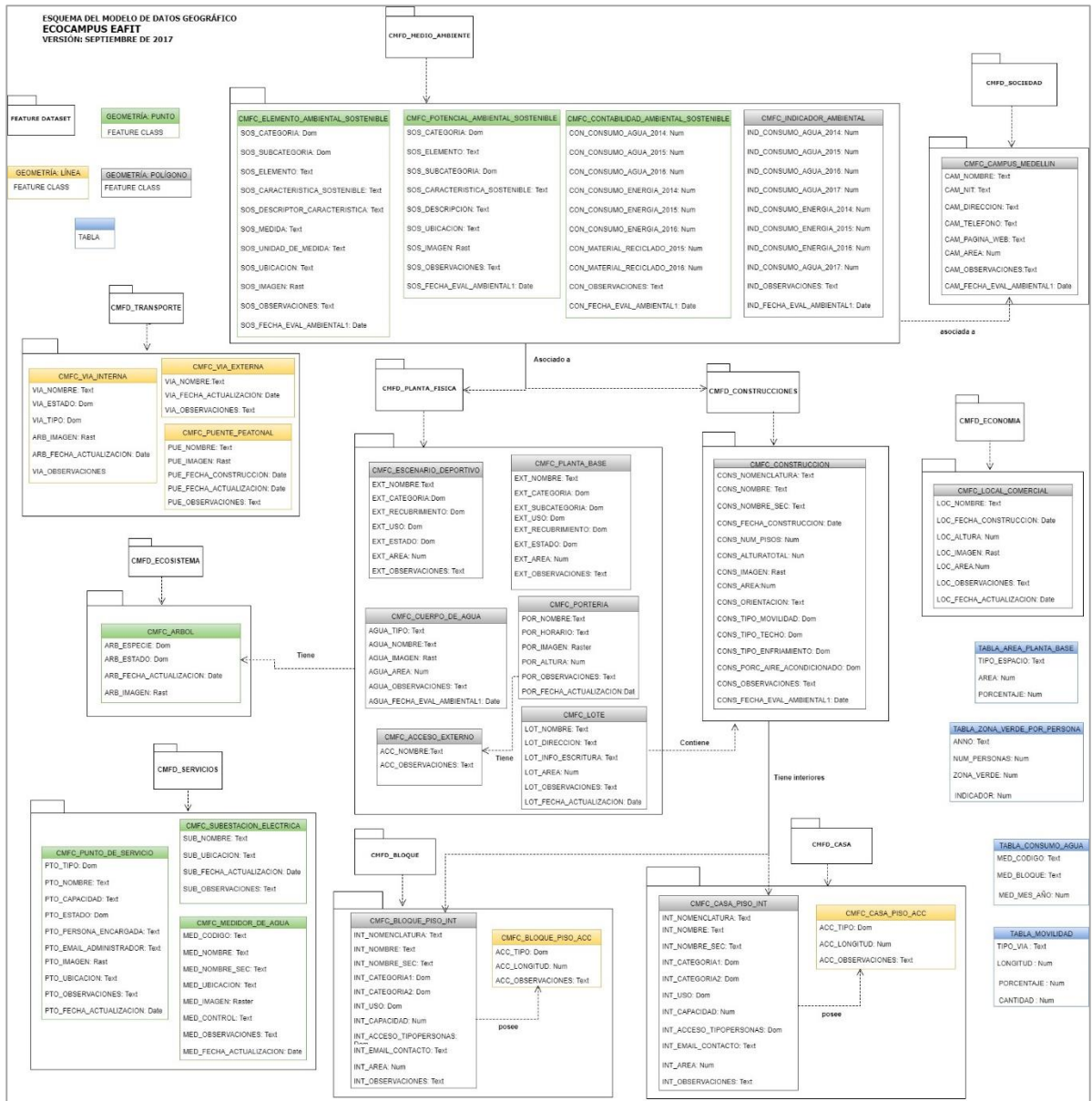


Figura 29. Modelo de datos del sistema Ecocampus EAFIT. Elaboración propia.

## ANEXO B. RESPUESTAS A LA EVALUACIÓN DE USABILIDAD DE LA APLICACIÓN WEB ECOCAMPUS EAFIT

PREGUNTAS	RESPUESTAS
¿La aplicación entrega resultados de forma esperada y correcta?	 <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">●</span> 5: Completamente de acuerdo</li> <li><span style="color: red;">●</span> 4: De acuerdo</li> <li><span style="color: orange;">●</span> 3: Indiferente</li> <li><span style="color: green;">●</span> 2: En desacuerdo</li> <li><span style="color: purple;">●</span> 1: Completamente en desacuerdo</li> </ul>
¿La aplicación cuenta con mecanismos de control de acceso para el usuario?	
¿La aplicación brinda la posibilidad de exportar datos para ser usados en otros sistemas?	
¿La aplicación web sigue estándares o convenciones de diseño ampliamente aceptados?	
¿Usa estructuras de datos de tipo estándar?	 <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">●</span> 5: Completamente de acuerdo</li> <li><span style="color: red;">●</span> 4: De acuerdo</li> <li><span style="color: orange;">●</span> 3: Indiferente</li> <li><span style="color: green;">●</span> 2: En desacuerdo</li> <li><span style="color: purple;">●</span> 1: Completamente en desacuerdo</li> </ul>
¿El tiempo de respuesta y procesamiento de la aplicación es adecuado?	
¿Es fácil de entender y reconocer la estructura de la aplicación?	
¿La aplicación cuenta con manual de usuarios o ayudas que faciliten su utilización?	
¿Es fácil de aprender a usar la aplicación?	 <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">●</span> 5: Completamente de acuerdo</li> <li><span style="color: red;">●</span> 4: De acuerdo</li> <li><span style="color: orange;">●</span> 3: Indiferente</li> <li><span style="color: green;">●</span> 2: En desacuerdo</li> <li><span style="color: purple;">●</span> 1: Completamente en desacuerdo</li> </ul>
¿Es fácil de operar y controlar la aplicación?	
¿La aplicación protege al usuario de cometer errores?	 <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">●</span> 5: Completamente de acuerdo</li> <li><span style="color: red;">●</span> 4: De acuerdo</li> <li><span style="color: orange;">●</span> 3: Indiferente</li> <li><span style="color: green;">●</span> 2: En desacuerdo</li> <li><span style="color: purple;">●</span> 1: Completamente en desacuerdo</li> </ul>
¿Es agradable el diseño de la aplicación?	
¿Siente satisfacción al interactuar con la aplicación?	
Observaciones	Me parece una aplicación muy interesante y muy necesaria para mantener actualizada toda la información del campus Universitario.

Fuente: elaboración propia con base en formulario de Google® Drive

## ANEXO C. MAPAS TEMÁTICOS

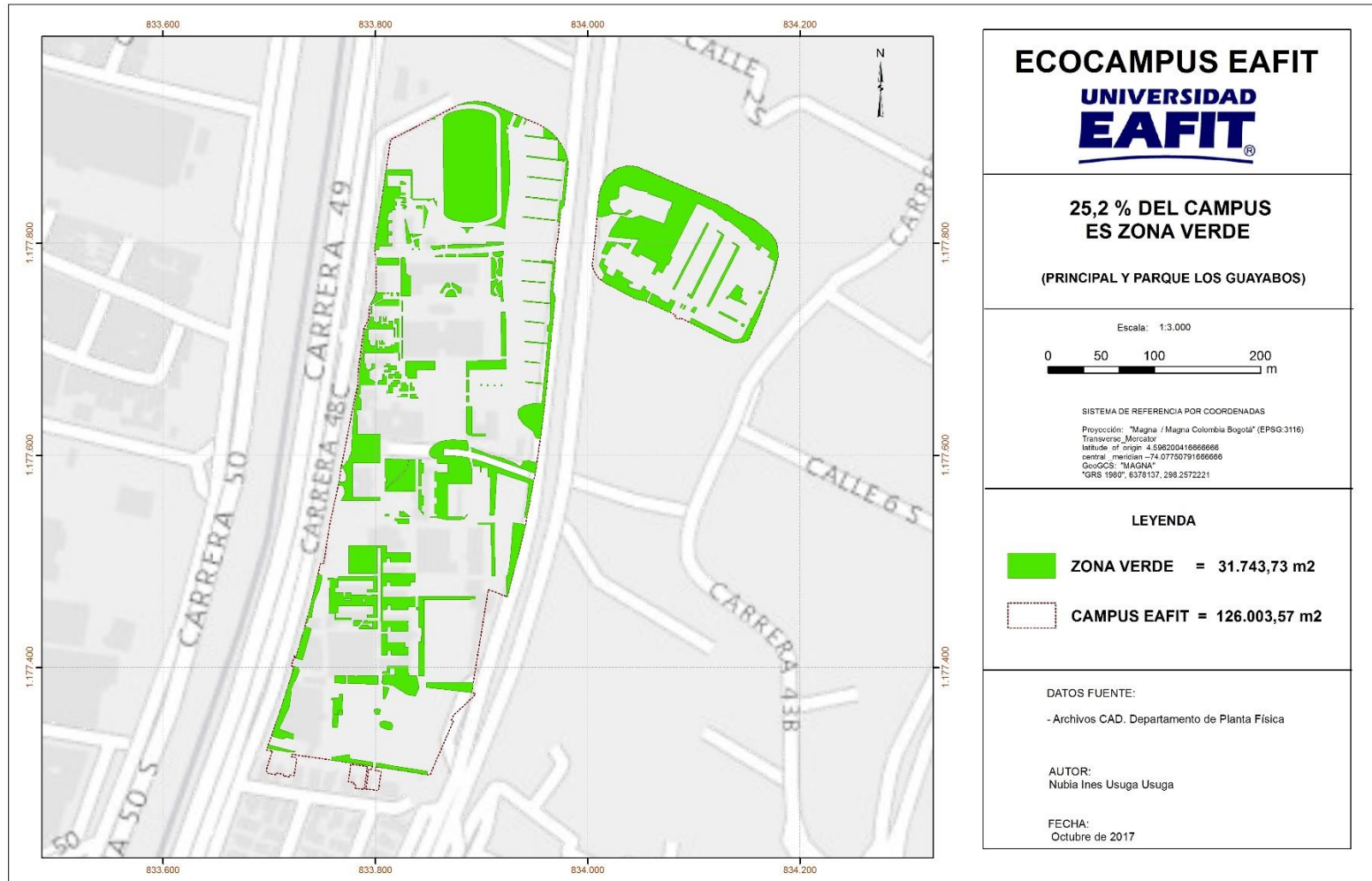


Figura 30. Mapa de zona verde del campus EAFIT. Elaboración propia.

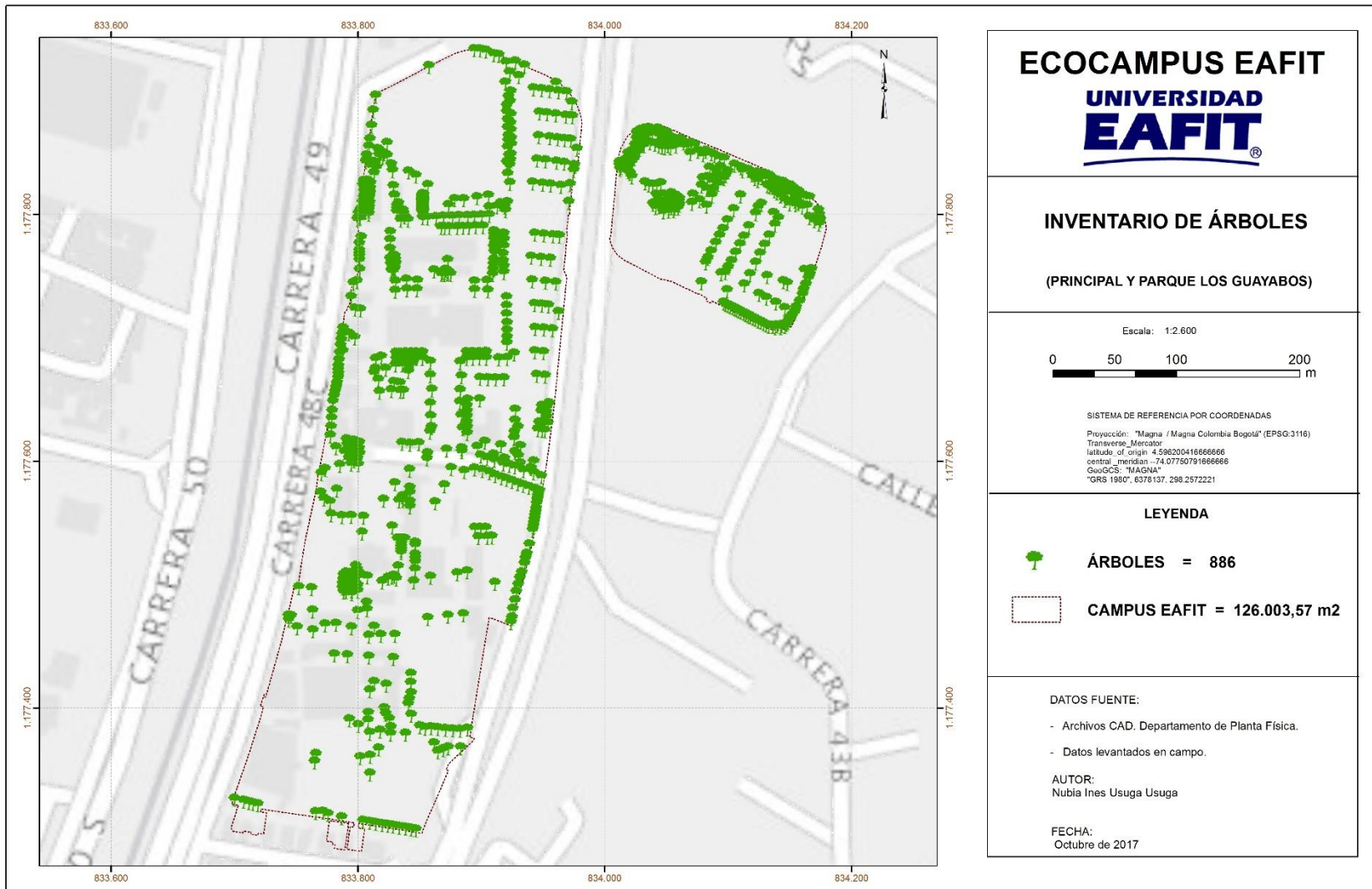


Figura 31. Mapa de inventario de árboles. Elaboración propia.

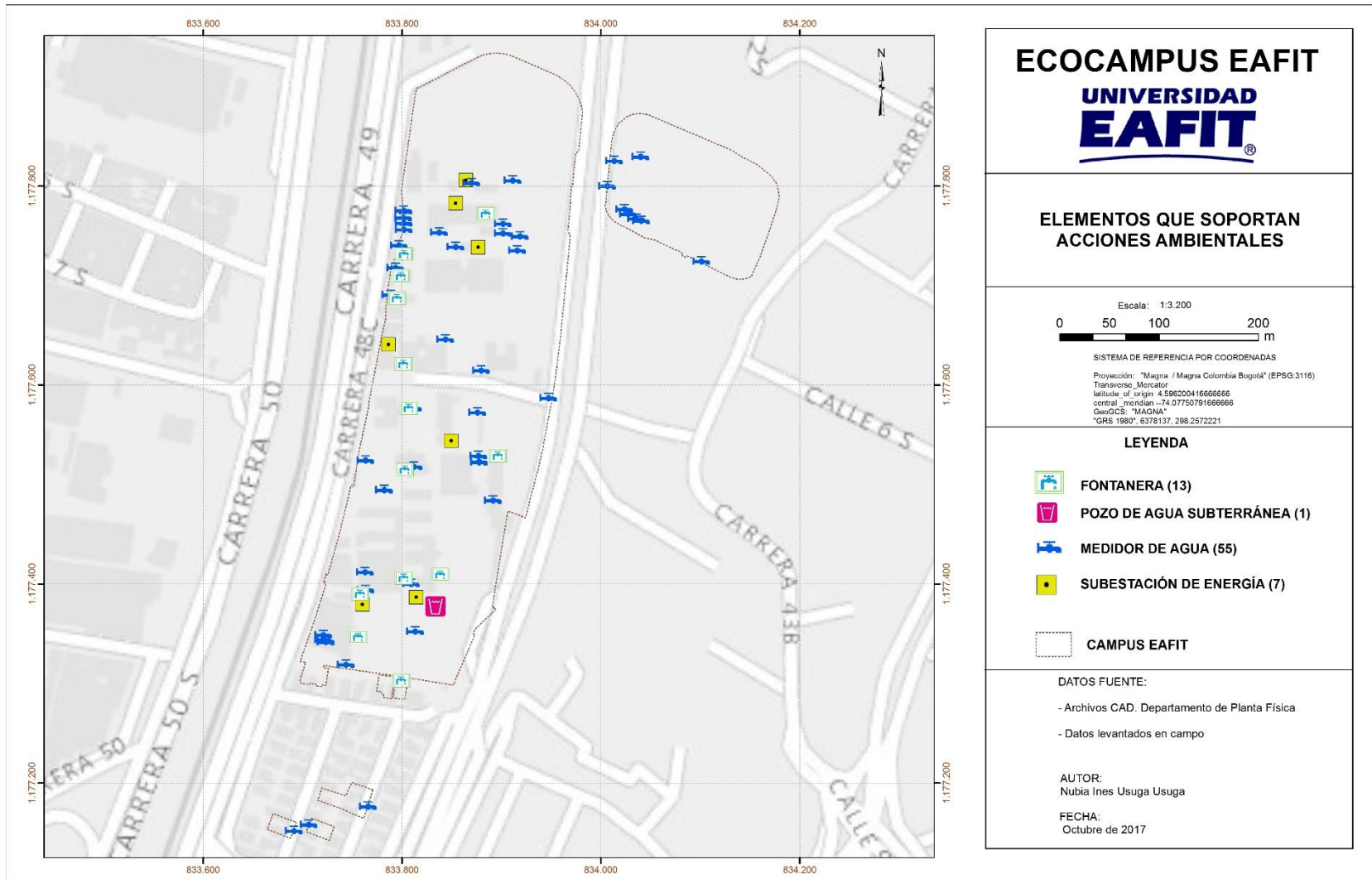


Figura 32. Mapa de elementos ambientales. Elaboración propia.

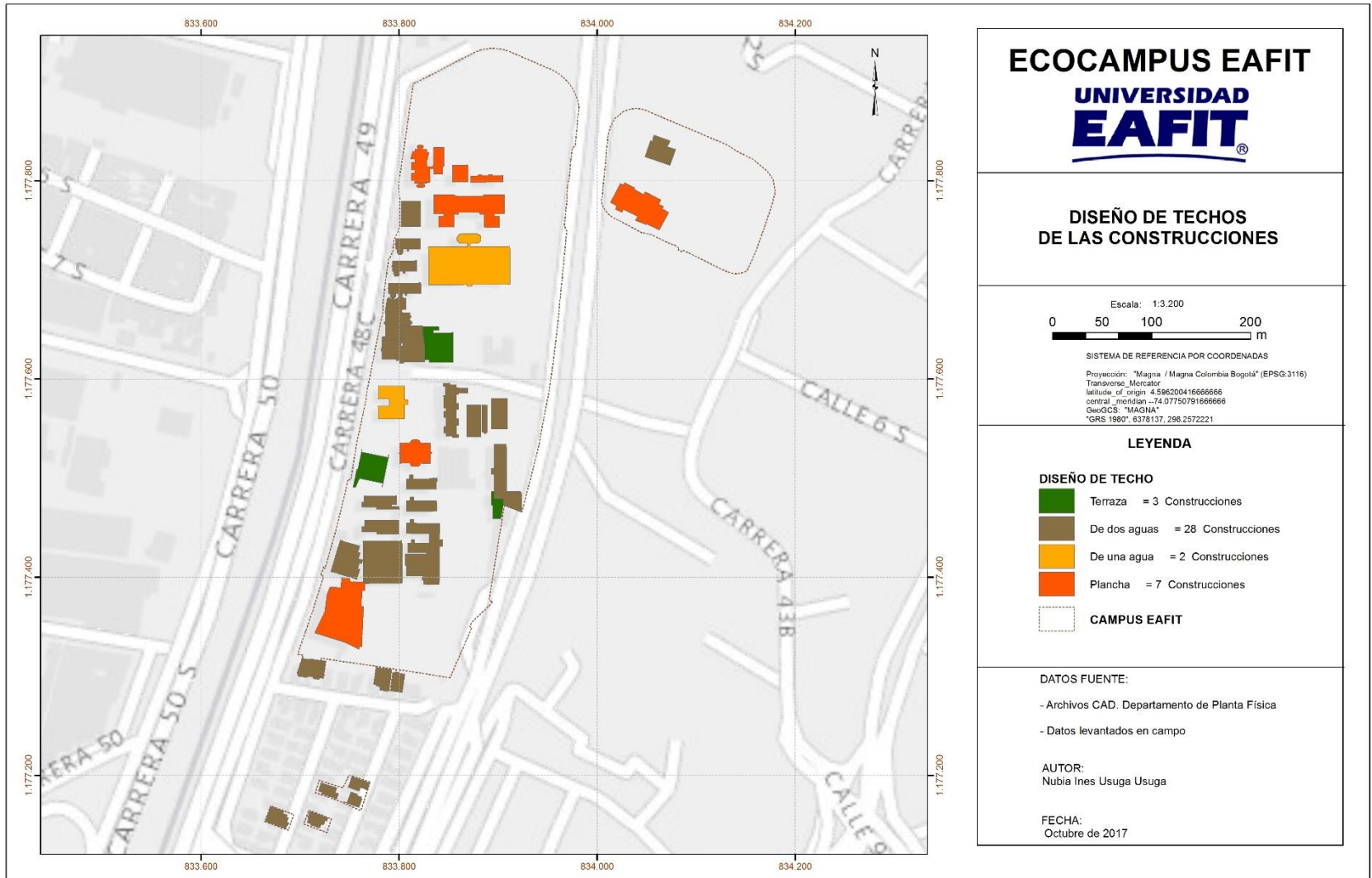


Figura 33. Mapa de diseño de techos. Elaboración propia.

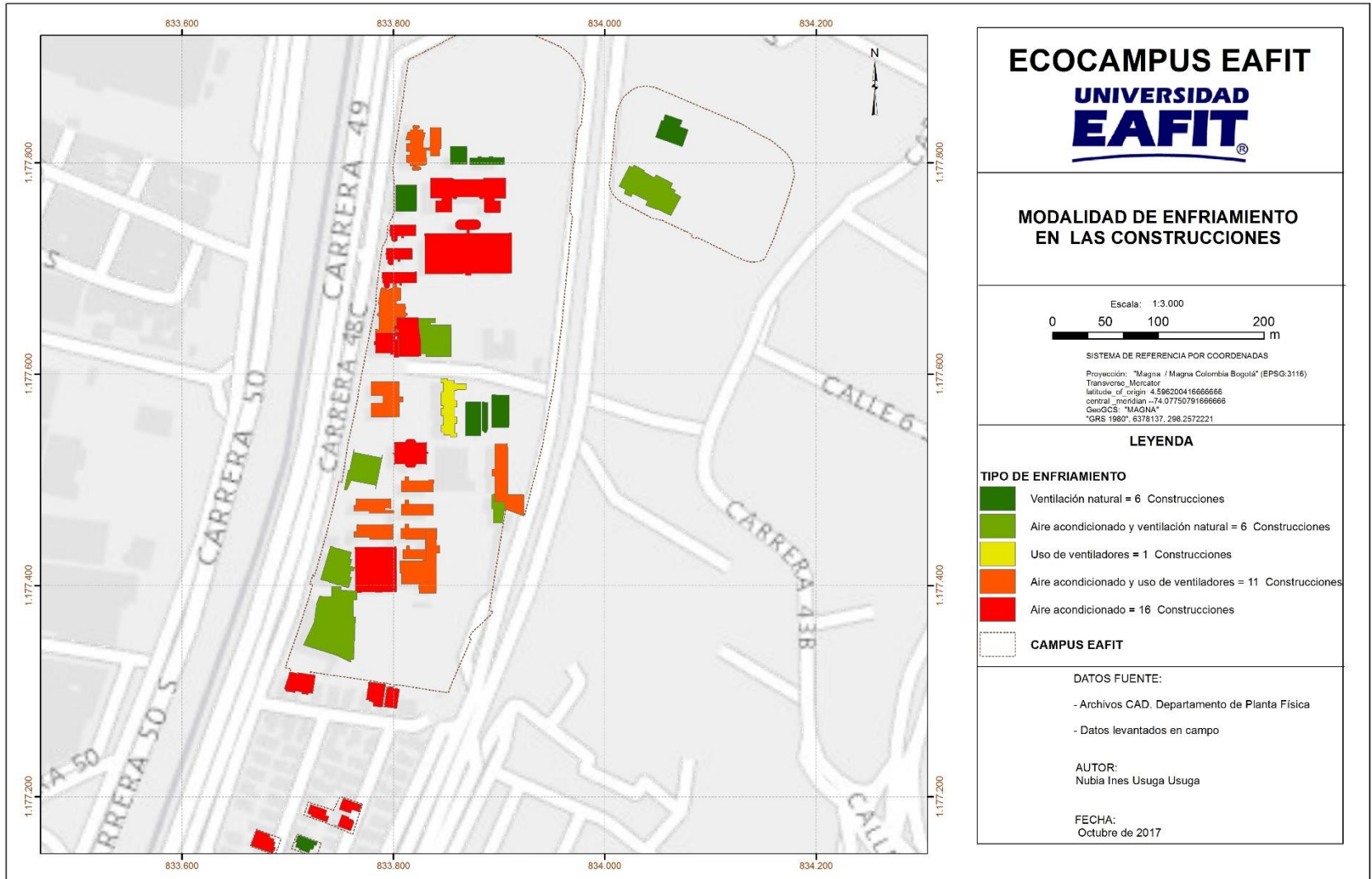
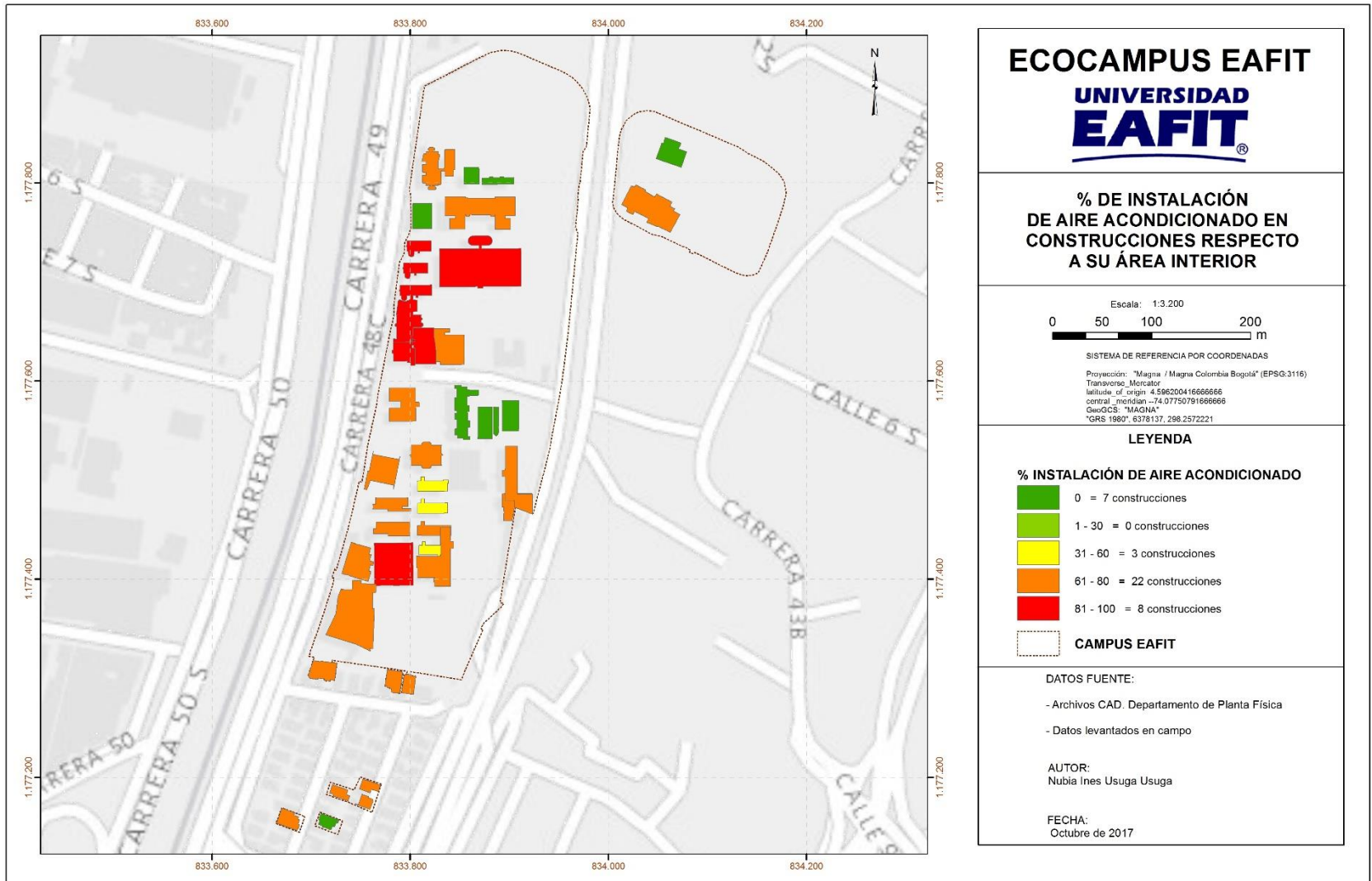


Figura 34. Mapa de modalidad de enfriamiento en las construcciones. Elaboración propia.



**Figura 35.** Mapa de % de instalación de aire acondicionado en las construcciones. Elaboración propia.

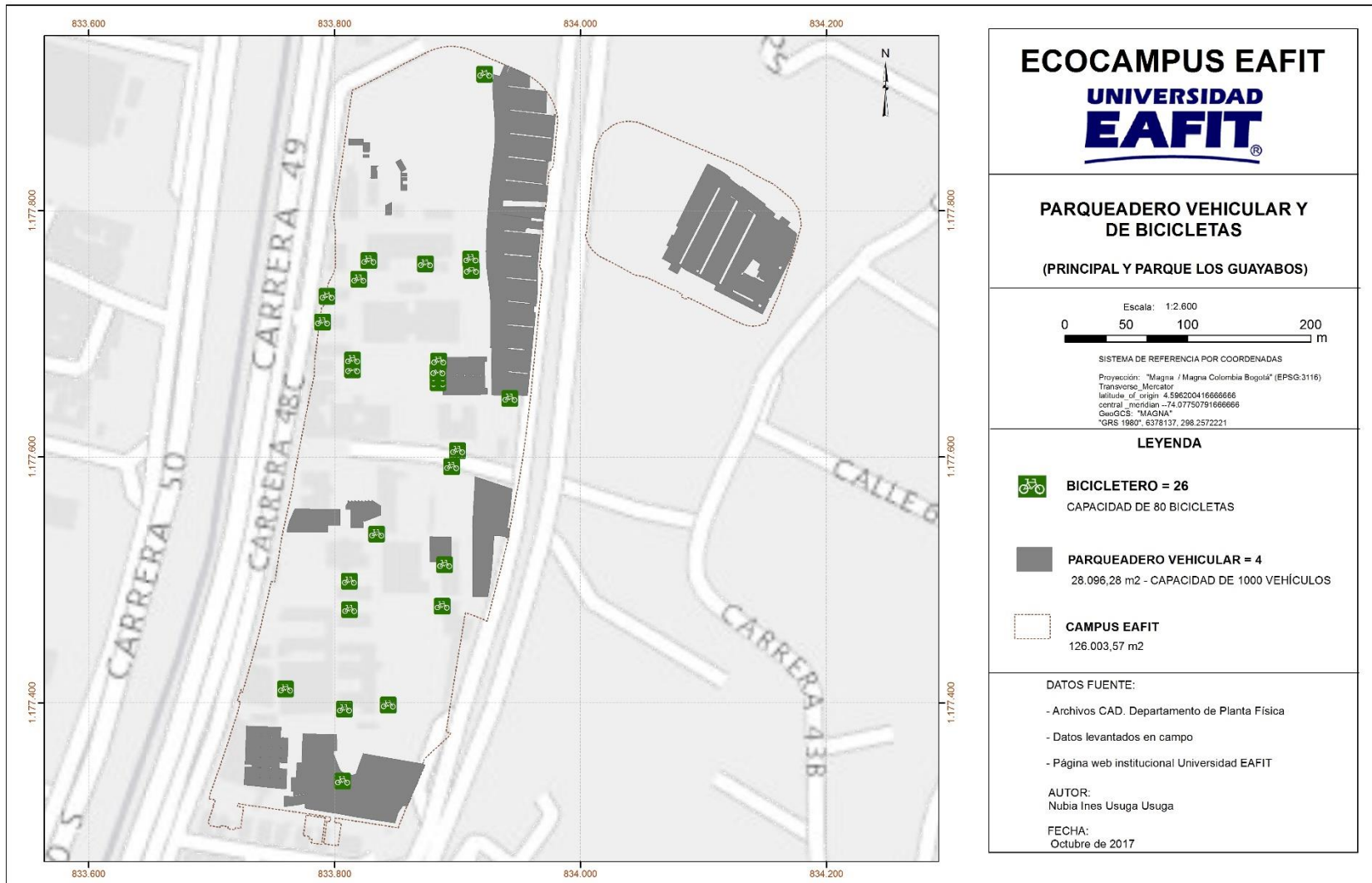


Figura 36. Mapa de parqueadero vehicular y de bicicletas. Elaboración propia.

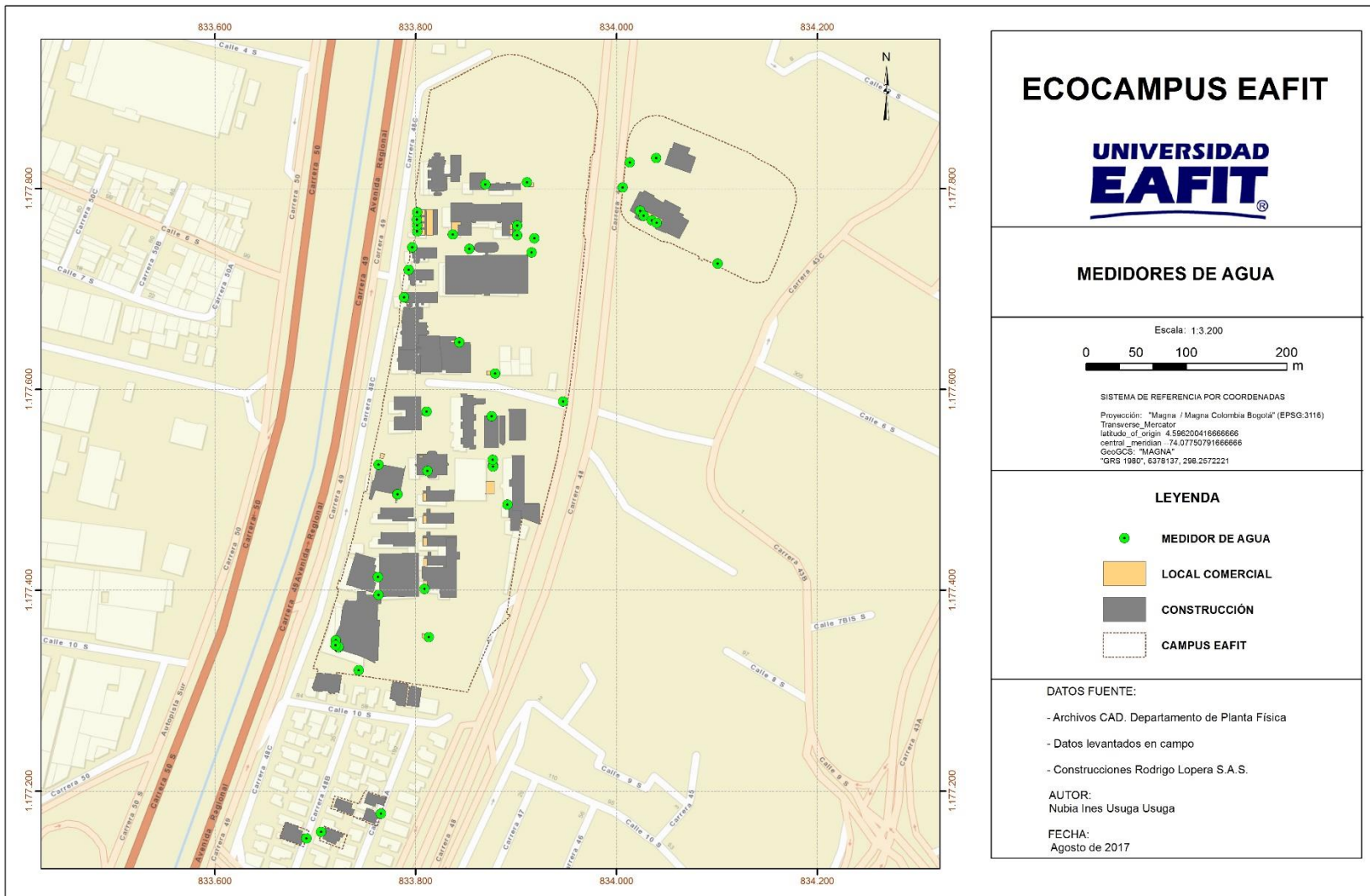


Figura 37. Mapa de medidores de agua. Elaboración propia.

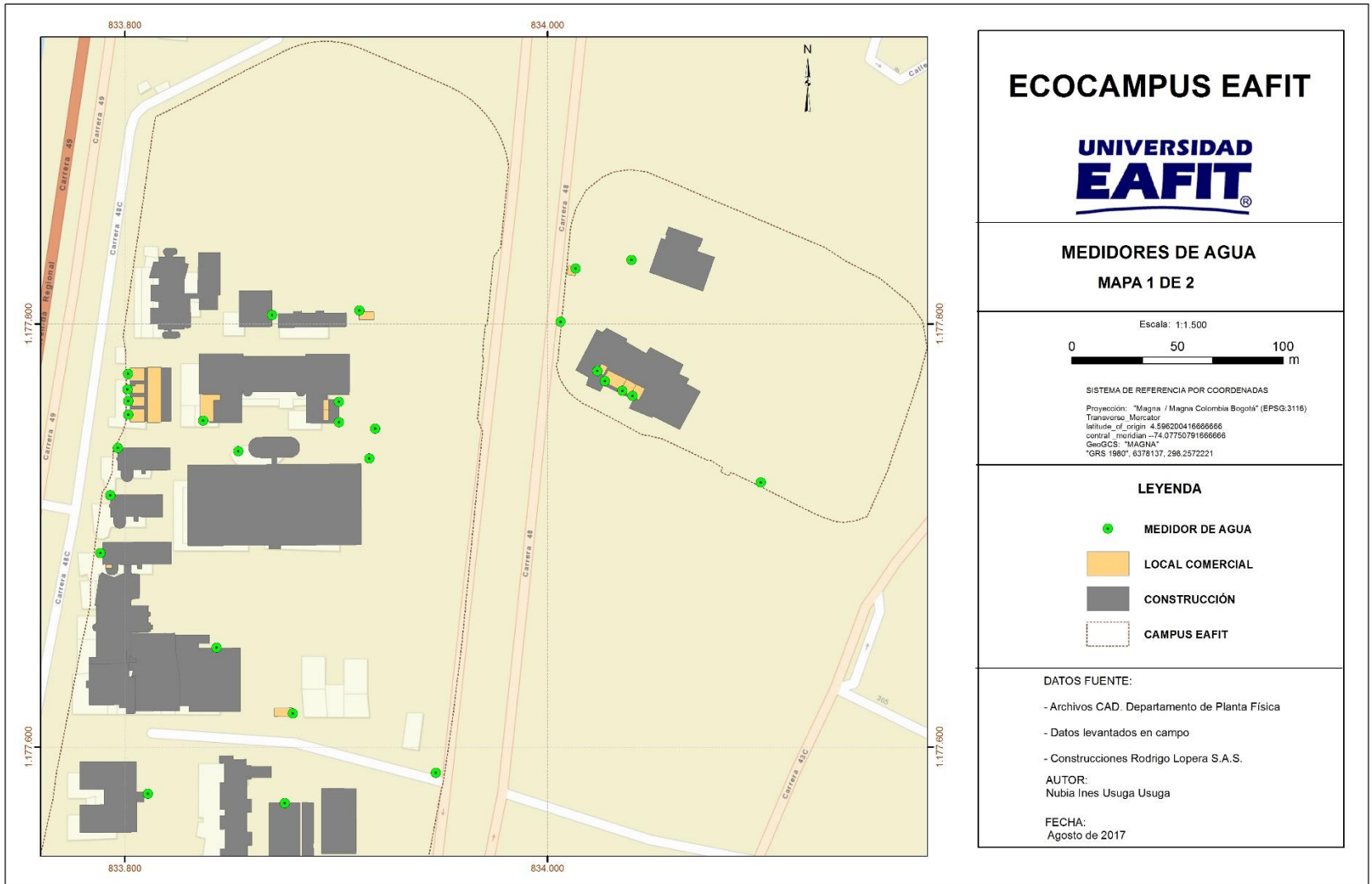


Figura 38. Medidores de agua, mapa 1 de 2. Elaboración propia.

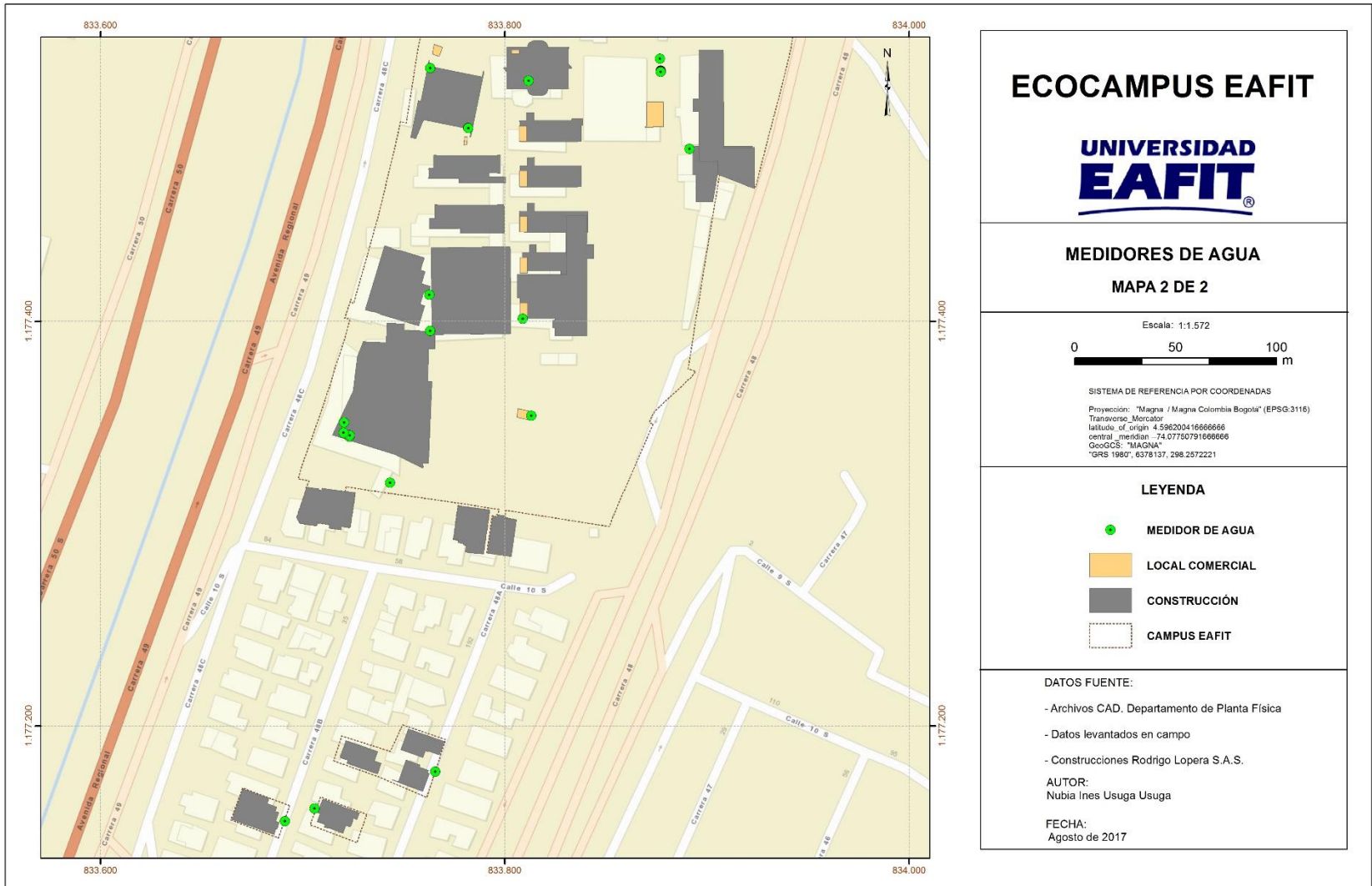


Figura 39. Medidores de agua, mapa 2 de 2. Elaboración propia.