

**Gestión ambiental universitaria a partir del aprovechamiento de agua pluvial.
Caso de estudio, Universidad Tecnológica de Pereira**

**Jhenifer Liliana Henao Cárdenas
Yesica Castaño Arango**

**Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Ciencias Ambientales
Administración Ambiental
Pereira
2016**

**Gestión ambiental universitaria a partir del aprovechamiento de agua pluvial.
Caso de estudio, Universidad Tecnológica de Pereira**

**Jhenifer Liliana Henao Cárdenas
Yesica Castaño Arango**

Trabajo de grado para optar al título de Administrador Ambiental

**Tito Morales Pinzón
Director**

**Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Ciencias Ambientales
Administración Ambiental
Pereira
2016**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2 JUSTIFICACIÓN.....	15
3 OBJETIVOS.....	18
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4 MARCO DE REFERENCIA.....	19
4.1 ESTADO DE ARTE APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA.....	19
4.2 EL AGUA Y EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA	22
4.3 MARCO NORMATIVO APLICABLE A ESTE TRABAJO	29
5 DISEÑO METODOLÓGICO	30
5.1 SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	30
5.2 DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS	31
5.3 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA PRECIPITA GAT	33
5.4 DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS.....	36
6 OFERTA POTENCIAL DE AGUA DE LLUVIA Y ESTRATEGIAS PARA SU APROVECHAMIENTO.....	37
6.1 Demanda de agua en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira	37
Balance de agua de lluvia en el campus de la UTP	39
6.2.....	39
6.3 Evaluación del impacto potencial ambiental.....	42
6.4 Estrategias para el aprovechamiento del agua de lluvia.....	44
7 CONCLUSIONES.....	46
8 RECOMENDACIONES	47
9 BIBLIOGRAFIA.....	48
10 ANEXOS	52
10.1 Imágenes satelitales del campus de la Universidad Tecnológica de Pereira utilizando como herramienta Google Earth pro.	52
10.2 Ejemplo de Modelación en software Precipita GAT edificio 13 bloque Y Universidad Tecnológica de Pereira.	60
10.2.1 Resultado de impacto ambiental en modelación en software Precipita GAT edificio 13 bloque Y Universidad Tecnológica de Pereira.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales componentes de los sistemas urbanos de aprovechamiento de agua lluvia: T.D. Fletcher, et al, 2008.	24
Figura 2. Localización universidad tecnológica de Pereira. (Tomado de Sarmiento- Ocampo, F; Trujillo, 2012).....	31
Figura 3.Matrícula total de estudiantes de pregrado y posgrado por facultad. Estadísticas e indicadores estratégicos. Vicerrectoría Académica, Universidad Tecnológica de Pereira.....	38
Figura 4. Esquema general de un SAT. Tomado de Baena, C E (2016)	44
Figura 5.Ajustes básicos para el modelado del sistema edificio 13 bloque Y. Precipita GAT elaboración propia en base en software desarrollado por Morales-Pinzón, T; Flórez, M T; Orozco, I E. (2016).	60
Figura 6. Datos de precipitación diaria utilizados en la simulación de los depósitos del edificio 13, bloque y, Universidad tecnológica de Pereira.....	61
Figura 7.Configuración de la simulación de comportamiento en capacidades de almacenamiento de agua no convencional del edificio 13, bloque y, Universidad tecnológica de Pereira.	62
Figura 8.Resultados de la Simulación.....	63
Figura 9. Comportamiento de la demanda anual satisfecha de agua de lluvia según su capacidad de almacenamiento en el edificio 13, bloque y Universidad Tecnológica.	63
Figura 10. Resultados de la simulación en formato de tabla	64
Figura 11. Comportamiento uso de agua de red según configuración de capacidades de almacenamiento de agua de lluvia y de agua gris combinadas del edificio 13, bloque y, Universidad tecnológica de Pereira.	64
Figura 12. Comportamiento del uso de agua de red según configuración de capacidades de almacenamiento de agua de lluvia y de agua gris combinadas del edificio 13, bloque y, Universidad tecnológica de Pereira.	65
Figura 13. Porcentaje de demanda de agua de lluvia satisfecha según capacidad de almacenamiento del edificio 13, bloque y, Universidad tecnológica de Pereira.	66
Figura 14 Potencial de emisiones de gases de efecto invernadero, edificio 13, bloque Y, Universidad Tecnológica de Pereira.	67

INDICE DE IMAGENES

Imagen 1: superficie de captación en m ² , edificio bloque H Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro	52
Imagen 2. Superficie de capitación en m ² , edificio bloque Y Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro	53
Imagen 3. Superficie de capitación en m ² , edificio bloque S Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro	53
Imagen 4. Superficie de capitación en m ² , edificio bloque F Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro	54
Imagen 5. Superficie de capitación en m ² , edificio Jorge Roa Martínez, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro	54
Imagen 6: Superficie de capitación en m ² , edificio de educación, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro	55
Imagen 7. Superficie de capitación en m ² , edificio de Química, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro	55
Imagen 8. Superficie de capitación en m ² , edificio galpón, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro	56
Imagen 9. Superficie de capitación en m ² , edificio CRI, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro	56
Imagen 10. Superficie de capitación en m ² , edificio Industrial, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro	57
Imagen 11. Superficie de capitación en m ² , edificio Mecánica, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro	58
Imagen 12. Superficie de capitación en m ² , edificio Eléctrica, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro	58
Imagen 13. Superficie de capitación en m ² , edificio de Bienestar Universitario, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro	59

Imagen 14. Superficie de capitación en m², edificio la Julita, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro 59

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Explicación Marco Normativo.....	29
Tabla 2. Demanda de agua en edificios de la UTP	37
Tabla 3. Composición de la población en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira (año 2015)	39
Tabla 4. Oferta de Agua de Lluvia en la UTP	40
Tabla 5. Resultados simulación por edificio.....	41
Tabla 6. Resultados de impactos ambientales asociados a los gases de efecto invernadero	43

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Tito Morales el director de nuestro trabajo de grado, por su gran dedicación, paciencia, y por compartir sus conocimientos con nosotras.

Agradecemos muy especialmente a Manuel Tiberio Flórez, por su tiempo, constante colaboración, filantropía, por cada palabra llena de sabiduría, paciencia y ánimo.

Agradezco a mi Madre y mi Padre, por brindarme su apoyo incondicional para lograr que fuera una Administradora Ambiental, sin ellos este logro no sería una realidad, agradezco a mi Abuela y mis primas quienes me brindaron un hogar mientras terminaba mis estudios; eternamente agradecida con cada persona que hizo parte de este largo proceso.

Jhenifer

a mis padres y mis hermanos, quienes son el pilar de mi vida, sin ellos nada sería posible, por su paciencia, tolerancia y constancia para conmigo.

Yesica

Dedicado a mi Madre Sara, quien ha sido mi apoyo incondicional, ella me dio alas para volar, sus palabras, su mirada, sus consejos, su paciencia; ella es un ser de luz, es mi mayor Bendición, gracias infinitas por su esfuerzo para hacer realidad un sueño. Este logro es para ella.

El sol nunca dejara de brillar en nuestras vidas.

Te amo Madre

Jhenifer.

Dedicado a Natalia Castaño, quien nunca me dejo sola en ese proceso, por su paciencia, sus consejos, por ser ese apoyo incondicional y ese amor sincero, leal e infinito.

Yesica.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación evalúa el aprovechamiento potencial de aguas lluvias en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira, teniendo en cuenta, la información de la planta física y los diferentes usuarios del campus universitario, de esta manera, concluir si el aprovechamiento de agua pluvial es una estrategia viable para la gestión ambiental universitaria, no solo en aspectos económicos sino también ambientales.

Para el logro de este objetivo, en primer lugar se realizó una recolección de información de la precipitación anual suministrada por la Red Hidroclimatológica de Risaralda, en su estación ubicada en la Universidad Tecnológica de Pereira y el área de las superficies de cubiertas de los diferentes bloques a evaluar, como variables fundamentales para estimar la oferta potencial de agua lluvia.

En segundo lugar se procede a hallar la demanda potencial de acuerdo al número de estudiantes, docentes y administrativos de la universidad, con la demanda obtenida en un estudio realizado en la Facultad de Ciencias Ambientales.

Después de tener la demanda y la oferta potencial, se procedió a realizar la modelación de los depósitos de almacenamiento de agua lluvia adecuada para cada uno de los edificios evaluados, teniendo en cuenta las características de cada uno de ellos, usando el software PrecipitaGAT. Posteriormente se hace una nueva modelación tomando como referencia los resultados obtenidos en la primera estimación de los volúmenes de almacenamiento de cada uno de los bloques, para

así obtener el impacto potencial ambiental ($\text{kg CO}_2 \text{ m}^3/\text{año}$) del aprovechamiento de agua lluvia, comparándolos con el impacto ambiental de emisiones generadas por el consumo agua de red.

Con respecto a los resultados obtenidos se puede concluir que el aprovechamiento de agua pluvial en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira es viable en cada uno de los 13 edificios evaluados (Y, Facultad de Bellas Artes y Humanidades, Salud, Industrial. Mecánica, Eléctrica, L, Facultad de ciencias ambientales, Bienestar universitario, Centro de Registro y Control, La Julita, Química y Biblioteca Jorge Roa Martínez) pudiendo satisfacer en un 25% la demanda total de agua no potable del campus.

ABSTRACT

This research work evaluate the potential use of rainwater at the campus of the Universidad Tecnológica de Pereira, using information of the physical plant and the different users of the University campus, in this way, we conclude whether the harvest of rainwater is a viable strategy for this University in terms of economic and environmental aspects.

For achieve this objective, a collection of data for the annual precipitation was supplied by the Hydroclimatologica network of Risaralda, from climatic station located at the Technological University of Pereira and the surfaces catchment of different blocks were gotten using Google Earth Pro.

Secondly, we proceed to find the potential demand according to the number of students, teachers and administrative personal at the University. This water demand was estimated according to a Facultad de Ciencias Ambientales research.

Water demand and supply data were included in a simulation model to get the storage capacity for each evaluated building, considering the characteristics of each of them, and using the PrecipitaGAT software. Then, a new simulation was conducted and the results obtained in the first modeling were included; storage capacity of each of the blocks, and the results of the potential environmental impact ($\text{kg CO}_2 \text{ m}^3/\text{year}$) of the use of rainwater, comparing them with the environmental impact of the consumption of mains water.

With regard to the results obtained, the conclusion is that the use of rainwater on the campus of the Technological University of Pereira is viable for each of the 13 evaluated buildings (Y block, Faculty of Arts and Humanities, Health Science, Industrial, Mechanical, Electric, L block, Faculty of Environmental Sciences, University Welfare, Centre of Registration and Control, the Julita, Chemistry and The Library Jorge Roa Martinez) satisfying 25% total demand of non-potable water for the campus.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad la escasez de agua conlleva a investigar e implementar nuevas propuestas de abastecimiento de agua que aporten a la sostenibilidad del recurso; dentro de este contexto los sistemas de captación de agua lluvia son una alternativa eficiente para disminuir el consumo de agua de red para usos como baterías sanitarias y riego, por medio de sistemas simples que disminuyan los impactos ambientales, la presión de los acueductos y alcantarillados y los pagos por consumo de agua potable.

El presente estudio es una contribución a los procesos de Gestión Ambiental que se desarrollan en el Campus de la Universidad Tecnológica de Pereira. Este trabajo está enmarcado dentro de un proyecto del grupo de Investigación GAT, “Metabolismo Urbano Y análisis Ambiental del Aprovechamiento de Agua no convencional en edificaciones más sostenibles”, Esta propuesta de investigación se encuentra enmarcada dentro de los lineamientos estratégicos para Investigación, Innovación y Extensión adoptados por la Universidad en el Acuerdo del Consejo Superior No. 05 (febrero de 2008, Objetivo No. 4). Además, es de investigación aplicada, tiene como propósito adquirir nuevo conocimiento para el aprovechamiento de recursos hídricos no convencionales en áreas urbanizadas y edificaciones; en esta investigación se toma como caso de estudio el Campus de la Universidad Tecnológica de Pereira, analizando 13 edificios de esta, a los cuales, se les hizo una evaluación de aprovechamiento de Agua lluvia, para de esa manera, tener certeza de la viabilidad de aprovecharla y proponer estrategias que conlleven a una mayor sostenibilidad ambiental en el Campus.

El trabajo consta de seis capítulos, entre los primeros tres encontramos información primordial para comprender el desarrollo del trabajo, como lo es: Introducción, Planteamiento del problema,

Justificación y Objetivos; el cuarto capítulo es el Marco de Referencia, el cual es la fundamentación teórica y normativa de la investigación, en este capítulo encontramos el estado de Arte, el Agua y el aprovechamiento de Agua de lluvia, finalizando con el Marco Normativo; el capítulo cinco es el proceso metodológico, el cual expone como se levanta a cabo el desarrollo de los objetivos, e funcionamiento del software utilizado Precipita GAT, y la metodología para definir las estrategias; el sexto capítulo consta del desarrollo de cada objetivo propuesto en el trabajo incluyendo las estrategias para el aprovechamiento de Agua de Lluvia en el Campus de la Universidad Tecnológica de Pereira, para finalizar el trabajo se realizaron unas conclusiones y recomendaciones que se deben tener en cuenta e incluirlas en la política Ambiental de la Universidad.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es uno de los recursos renovables naturales más importante para el desarrollo de la humanidad. Desde los inicios de la civilización, los seres humanos han establecido sus sociedades en torno a las aguas superficiales disponibles; utilizándolas para su consumo, transporte, riego de cultivos, actividades domésticas e industriales. Debido al crecimiento demográfico muchas civilizaciones se vieron obligadas a ocupar regiones de baja o nula disponibilidad de agua superficial, ya que, se ubicaron en territorios áridos y semiáridos en los cuales debían buscar alternativas como el aprovechamiento de aguas lluvias para suplir sus necesidades.

En la actualidad, muchas poblaciones continúan con problemas de abastecimiento de agua superficial y no solo por su ubicación en territorios áridos y semiáridos, sino también, por el continuo crecimiento de la población y su desplazamiento de entornos rurales a urbanos, al aumento de la demanda, el grado de contaminación de origen industrial, municipal y agrícola. Por consiguiente, para lograr un equilibrio en la comunidad con el consumo del recurso hídrico se plantean sistemas de aprovechamiento de agua, entre ellos se encuentra el aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa de solución ante la escasez de agua dulce en el planeta.

Pereira es un municipio favorecido en términos de la cantidad de agua lluvia que recibe, debido a la elevada precipitación anual; por lo tanto, aprovechar el agua lluvia es una estrategia ante la escasez del recurso. La Universidad Tecnológica de Pereira cuenta con dos sistemas simples de almacenamiento y aprovechamiento de agua lluvia; los cuales se encuentran ubicados en el edificio de la Facultad de Ciencias Ambientales y en el Jardín Botánico; estos se constituyen en una fuente alterna de abastecimiento a las baterías sanitarias, reduciendo así el uso de las fuentes locales externas.

En esta investigación se pretende realizar una evaluación del aprovechamiento potencial de aguas lluvias en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira y se busca se busca comprender ¿por qué es importante aprovechar el agua pluvial en las diferentes superficies de las edificaciones de la universidad Tecnológica de Pereira?

2 JUSTIFICACIÓN

El agua es un elemento muy importante para sustentar la vida, todo ser vivo está compuesto en gran parte por agua. A pesar de ser el recurso más abundante en la tierra, según las Naciones Unidas (2007) el agua aprovechable o dulce solo son del 2,53% y se estima con el cambio climático la escasez de agua aumente en un 20% sumado al crecimiento poblacional y económico. Esto generaría una mayor presión sobre el recurso hídrico.

El agua se convierte en recurso en la medida en que esté es disponible para lograr satisfacer las necesidades humanas. Generalmente la localización de las actividades económicas no corresponde con la ubicación de las reservas hídricas, es por ello, que el desajuste entre las necesidades y el recurso hídrico, se considera un desafío de la naturaleza, al que el hombre debe encarar con la puesta en práctica de técnicas apropiadas, Bethemont, (1980)

Actualmente la presión existente sobre las cuencas hidrográficas es muy alta, debido a la fuerte demanda del recurso y al grado de contaminación de las fuentes superficiales. En base a esto, muchas poblaciones urbanas cuentan con un grado de desabastecimiento de agua potable, Ideam, (2014); por consiguiente, es necesario generar alternativas que permitan la sustentabilidad del recurso.

La precipitación pluvial representa un valioso recurso natural que se debe aprovechar, es una de las opciones más reales para proporcionar agua a aquellos que no cuentan con este recurso. Es posible establecer sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano a nivel de familia, a nivel de comunidad y a nivel institucional; Pereira por encontrarse ubicada en la cordillera central es un municipio con una alta precipitación, la cual tiene un promedio anual, según la red Hidroclimatológica de Risaralda de 2108 mm; si se tiene en cuenta que el río Otún es la única

fuerza de abastecimiento de agua potable es adecuado contribuir al cuidado y conservación del afluente con la implementación de alternativas amigables con el medio ambiente.

El aprovechamiento de agua lluvia para instituciones, es una práctica de fácil implementación, permite disminuir los consumos de agua potable, se logra así, una reducción en los gastos por dichos consumos, y se da un uso eficiente al recurso, de manera que, aquellos sistemas en los cuales el agua potable no es necesaria, puedan ser abastecidos por el agua lluvia, como lo son, las baterías sanitarias de las diferentes edificaciones de la institución.

La Universidad Tecnológica de Pereira es considerada una de las instituciones educativas más ecológicas del planeta e incluye en su plan de desarrollo una política ambiental con estrategias para el consumo responsable de agua; estas estrategias se han implementan en el campus universitario, pero aún el consumo de agua es exagerado, ya que, el crecimiento de la población estudiantil crece cada semestre y no es igual a el número de estudiantes graduados. Según su Oficina de Planeación en la actualidad la Universidad Tecnológica de Pereira cuenta con una población de 17475 estudiantes, de los cuales 2256 se matricularon por primera vez en el primer semestre del año 2015, pero de estos estudiantes solo se gradúa un promedio de 1171 semestral, lo cual genera que su población cada día crezca más y el elevado consumo de agua se vuelva un problema ambiental y financiero.

Según el centro de Gestión Ambiental de la Universidad Tecnológica de Pereira esta debe responder a una serie de responsabilidades socio ambiental. Esto lo hace mitigando, corrigiendo, previniendo y compensando los impactos ambientales negativos generados en el Campus y participando activamente del desarrollo sustentable de la Ecorregión Eje Cafetero. Para esto realiza procesos educativos, tecnológicos y de cultura ambiental que promueven la sustentabilidad del campus, donde se involucra la participación activa de cada uno de sus estamentos - estudiantes, docentes y administrativos.

Como estudiantes de Administración Ambiental se quiere aportar a los procesos de Gestión Ambiental universitaria con la evaluación del aprovechamiento potencial de aguas lluvias en el

campus de la Universidad, para de esa manera proponer estrategias de aprovechamiento de las mismas.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el aprovechamiento potencial de aguas lluvias en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar la oferta potencial y demanda potencial del agua lluvia en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira en sus diferentes superficies de las edificaciones.
- Evaluar algunos impactos ambientales asociados al uso potencial de aguas lluvias.
- Proponer estrategias para el aprovechamiento potencial de aguas lluvias en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira.

4 MARCO DE REFERENCIA

4.1 ESTADO DE ARTE APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA

La cosecha del agua lluvia, sigue siendo, un bien público, requiere ser seriamente considerada como una alternativa para la prevención de riesgos urbanos y regionales, Pacheco M (2009). Cosechar la lluvia ha sido una actividad milenaria, practicada por muchas culturas en regiones húmedas y áridas, en contextos de pobreza y de riqueza. El agua lluvia es considerada una gran fuente de abastecimiento ya que no está expuesta a riesgos de contaminación por parte de basuras, materia fecal, fertilizantes, plaguicidas, entre otros, gracias a ello es un recurso de calidad superior a la que se extrae de fuentes superficiales y subterráneas, Arango, N, Flores, J. (2012).

El aprovechamiento del agua lluvia es una práctica interesante, tanto ambiental como económicamente, si se tiene en cuenta la gran cantidad de recurso demandado de las cuencas hidrográficas, el alto grado de contaminación de las fuentes superficiales y los elevados costos por el consumo de agua potable, Palacio (2010). Dependiendo de las condiciones ambientales y locales, el agua lluvia puede considerarse para proporcionar un sistema de abastecimiento complementario o único, puede suplir toda la demanda de agua no potable en 5 ciudades de Colombia (Manizales, Medellín, Ibagué, Armenia, y Pereira) según Morales-Pinzón et al. (2012).

La planificación y gestión del agua lluvia puede reducir riesgos, prevenir daños a la salud y mitigar desastres de acuerdo con Pacheco (2008). Los avances en la gestión del agua lluvia son poco alentadores a pesar de la crítica situación del agua en muchos países, ignorar el potencial suministro de agua a partir de la lluvia deja de lado la posibilidad de implementar sistemas sostenibles en regiones donde otras alternativas tienen reducida viabilidad. En la actualidad, el aprovechamiento del agua de lluvia puede plantearse como una alternativa sostenible desde un punto de vista de recurso para diferentes usos donde la calidad de agua potable no es necesaria.

En el mundo la cosecha de agua lluvia es una actividad muy antigua, desde el inicio de las sociedades, el hombre ha aprovechado el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte, según Rojas (2009), por ello el valle de los ríos es el lugar escogido para establecer las primeras civilizaciones, allí aprende a domesticar los cultivos y con ello encuentra la primera aplicación al agua lluvia; pero no depende directamente de ella para su supervivencia debido a la presencia permanente del agua superficial. Cuando las civilizaciones crecieron demográficamente y algunos pueblos debieron ocupar zonas áridas o semiáridas del planeta, donde comenzó el desarrollo de formas de captación de aguas lluvias, como alternativa para el riego de cultivos y el consumo doméstico.

Diferentes formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de la historia; pero estas tecnologías sólo se han comenzado a estudiar y publicar recientemente. En base a la distribución de restos de estructuras de captación de agua de lluvia en el mundo y el continuo uso de estas obras, se puede concluir que las técnicas de captación de agua de lluvia cumplen un papel importante en la producción agrícola y en satisfacer las necesidades domésticas, con un uso más común en las regiones áridas o semiáridas, pero se plantea la necesidad de realizar esta actividad como una alternativa de provisión de agua ya que algunas ciudades dependen de una única fuente de abastecimiento y en otros casos es necesario trasladar volúmenes importantes de agua desde zonas más lejanas, García, Morales y Guerrero (2014).

A pesar de ser una práctica antiquísima, en la actualidad muchas empresas e instituciones se preocupan por ser cada día más sostenibles, no solo por las problemáticas ambientales o el cambio climático, sino también por el factor económico, implementando sistemas de gestión ambiental empresarial. La captación de agua lluvia es una tecnología que permite ahorrar, como es el caso de los almacenes Alkosto; una cadena de grandes superficies colombiana que se dedica a la comercialización de electrodomésticos, llantas, motos, mercado y line para el hogar, como también es el caso de La Institución Universitaria Colegio Mayor De Antioquia; donde se obtuvo una disminución promedio de 384 m³ mensuales de consumo de agua, evitando captarla, trasvasarla, tratarla y distribuirla de las fuentes naturales de las cuales recogen el agua las plantas

de potabilización asociadas al sistema de acueducto de las Empresas Públicas de Medellín, Arroyave (2011).

Para La Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá también se realizaron estudios en el año 2010, con el objetivo de establecer los requerimientos de infraestructura para el aprovechamiento sostenible del agua Lluvia, donde se logra establecer que los escenarios escogidos por sus bondades desde el punto de vista técnico y financiero, para la captación de agua lluvia podrían suplir una demanda aproximada del 14% del consumo total del campus, generando un ahorro promedio anual estimado en \$ 24.174.754 pesos colombianos, Estupiñán (2010). En el mismo año se realizó una propuesta para la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, donde se concluyó que gracias a la precipitación de la zona se podría cubrir la demanda durante 9 meses al año de los sanitarios y lava-escobas de la institución, Palacio (2010).

Pero estos no son los únicos casos de instituciones educativas donde se hace aprovechamiento de este recurso excedentario, la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá cuenta con un sistema en el edificio de posgrados en ciencias humanas, que consiste con un techo cubierto con grava para la captación de agua, almacenada en tanques subterráneos y posteriormente bombeada a baterías sanitarias y fuentes del edificio, al igual que el Jardín Botánico y Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira cuenta con un sistema de aprovechamiento donde se captación el agua lluvia, se almacena en tanques de 1 m³ y posterior se utilización en baterías sanitarias de los edificios.

El agua lluvia ha sido empleada en diversos países alrededor del mundo como por ejemplo en el municipio de San Cristóbal de las Casa, México, en el colegio de la frontera sur ECOSUR el cual es un caso muy interesante en donde se realizó un Proyecto Experimental: Sistema para Captación y filtración Aguas Pluviales, este proyecto se hizo por dos estudiantes de bren school of environmental science and management de la universidad de California, demandado no solo por los altos costos del consumo de agua sino porque a pesar de estar pagando al acueducto, la calidad del agua no es la mejor por lo tanto la universidad se veía obligada a comprar agua embotellada para satisfacer las necesidades de su población, se estima que la implementación de este sistema

proporcionara 2.000.000 de litros/año de agua al campus, con lo cual se podría satisfacer la demanda de ECOSUR duraste 130 días al año o sea un 35,6%.

4.2 EL AGUA Y EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA

La Tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida, que incluyen a más de 6.000 millones de seres humanos, se enfrenta con una grave crisis del agua. Todas las señales parecen indicar que la crisis se está empeorando y que continuará haciéndolo, a no ser que se emprenda una acción correctiva UN (2003).

El agua es un recurso vital para la existencia del ser humano. La grave crisis que enfrenta el planeta en cuanto a su disponibilidad y calidad, exige encontrar alternativas de solución. Por lo tanto, está la necesidad de analizar el problema de la escasez, de la calidad y del comportamiento humano con el agua; las proyecciones del informe sobre desarrollo humano 2007/2008 de Naciones Unidas conciertan en que, “los glaciares de montaña y la cobertura de nieve seguirán en retroceso. Con el aumento de las temperaturas, los cambios en las escorrentías y el aumento de la evaporación del agua, el cambio climático tendrá un impacto fuerte en la distribución del agua en el planeta y en los periodos de las corrientes”. Según la proyección del Informe, extensas áreas del mundo en desarrollo están confrontadas al aumento de tensiones inminentes en la producción de alimentos. La situación del agua declinará progresivamente, provocando enormes riesgos para la agricultura y la sostenibilidad de los asentamientos humanos PNUD (2007).

La necesidad de mitigar las sobrepresiones hídricas, es inminente, por lo tanto, es preciso establecer nuevas opciones de suministro de agua, las cuales logren interactuar eficazmente con el medio ambiente (Zhang, Chen, Chen, & Ashbolt, 2009). Actualmente el aprovechamiento de agua lluvia se ha convertido en una alternativa de suministro de agua en diferentes territorios. A partir de la Cumbre de Desarrollo Sostenible en Johannesburgo en 2002, el uso del agua lluvia se ha incorporado con mayor fuerza en las agendas políticas de muchos países como un recurso valioso

para contribuir hacia el resultado de los logros de los Objetivos de Desarrollo del Milenio IRHA (2008).

Un estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas en el año 2008, logró demostrar que más del 50 % de la población mundial reside en zonas urbanas, provocando que en muchas de estas áreas la demanda de agua sea mayor a la oferta disponible. FAO, (2000). Por lo tanto, las futuras demandas de agua representan un gran desafío para la administración y operación del servicio del recurso hídrico, cuya gestión debe encausarse hacia nuevos paradigmas donde la conservación, la protección de las fuentes de agua y el aprovechamiento sustentable comiencen a presentar mayor relevancia García; Morales & Guerrero (2014).

El agua lluvia es una alternativa de suministro, la cual puede ser utilizada para diferentes usos en entornos rurales y urbanos; dicha utilización constituiría una respuesta anticipada a la alta demanda del recurso hídrico debido al crecimiento urbano y ayudaría a mitigar los efectos del cambio climático tanto en los países desarrollados y en vía de desarrollo Kahinda (2010).

A nivel mundial el aprovechamiento del agua lluvia se ha convertido en todo un incentivo de gestión y uso eficiente del agua, en los casos en que la oferta del recurso hídrico representa un problema vital y en las zonas donde siendo suficiente, su suministro o potabilización representa costos socioeconómicos inalcanzables. De esta forma, el agua lluvia está siendo utilizada especialmente para descargas de inodoros, orinales y riego de jardines (Neila, 2000; Ramírez, 2009; Suárez, et al., 2006).

En Colombia esta práctica ha sido poco utilizada principalmente debido a su desconocimiento como recurso aprovechable y a la abundancia de fuentes de suministro superficiales. A pesar de ello, la mayoría de los proyectos de este tipo puestos en marcha han logrado reducir los costos por consumo de agua potable, facturando menores volúmenes por concepto de saneamiento básico (Duarte & Echeverry, 2004; Ramírez, 2009).

Actualmente por el creciente interés sobre el aprovechamiento del agua lluvia han surgido diferentes modelos de infraestructura que generalmente constan de cuatro componentes primarios:

captación, tratamiento, almacenamiento y distribución, siguiendo los tradicionales procesos de suministro de agua, pero teniendo en cuenta que actúan de acuerdo a los índices de carga contaminante que trae consigo el fluido (Fletcher, et al., 2008; Sturm, et al., 2009; Zhang, et al., 2009).

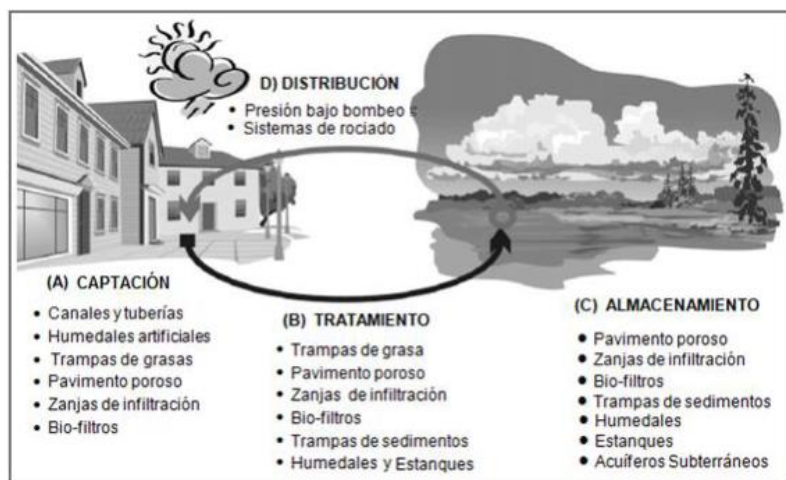


Figura 1. Principales componentes de los sistemas urbanos de aprovechamiento de agua lluvia: T.D. Fletcher, et al, 2008.

La infraestructura para el aprovechamiento de agua lluvia se concentra principalmente en el diseño de la estructura de almacenamiento, puesto que casi siempre esta resulta ser indispensable para equilibrar las diferencias temporales entre el suministro y la demanda de agua, más aún, cuando un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias no cuenta con una fuente permanente de suministro, sino que depende exclusivamente de la oferta hidrológica, que resulta ser variable, frente a una demanda constante (Gomes, 2010; Z. Li, 2010; Mitchell, McCarthy, Fletcher, & Deletic, 2005).

Por otra parte, Gosling & Edwards concuerdan que los proyectos propuestos para implementar dichos sistemas de aprovechamiento, no solo deben enfocarse en suministrar la infraestructura, sino también considerar la operación y el mantenimiento de los sistemas en el futuro. En este

sentido, es de vital importancia la activa participación de los miembros de la comunidad desde el análisis de los problemas, hasta la construcción de alternativas de solución y las acciones que deben tomarse, y de esta forma poder direccionar la sustentabilidad de los proyectos, ya que significaría una disminución en los costos UNEP, (2004), esto permitiría que dichos planes externos sean mejor entendidos por las comunidades, y el diseño de los proyectos serán acordes a las realidades (citado en informe técnico del proyecto: Metabolismo urbano y análisis ambiental del aprovechamiento de agua no convencional en edificaciones más sostenibles; Grupo de investigación Gestión ambiental territorial GAT).

El contexto de la presente investigación se enmarca en el recurso hídrico, un recurso natural renovable que actualmente afronta un problema ambiental con la reducción de la oferta, a causa de las limitaciones de uso que implica la alteración de la calidad de agua por contaminación, debido a los procesos de la actividad socioeconómica e industrial; por otra parte, la disponibilidad de agua está afectada por los procesos de degradación de las cuencas con la disminución progresiva de la regulación natural del régimen hidrológico. Muchos de los sistemas hídricos que actualmente abastecen a la población colombiana evidencian una vulnerabilidad alta para mantener su disponibilidad de agua, según los estimativos generales para condiciones hidrológicas cerca del 50% de la población de las áreas municipales está expuesta a sufrir problemas de abastecimiento de agua a causa de las condiciones de disponibilidad, Ideam (2015).

Los problemas ambientales se configuran al interior de un territorio compuesto por diversas dinámicas; por ello es necesario entender el territorio como resultado de la construcción de actores, que a su vez tienen múltiples identidades y pertenencias, herencias históricas y memorias culturales; estructuras materiales, organización y configuración espacial, coyunturas y tendencias globales, regionales y locales. En este sentido, el territorio es un espacio no exclusivamente biofísico en función de materia o forma, es en cambio, una producción constante, un asunto en permanente configuración, dinámico y cambiante Echevarría y Rincón, (2000).

Dentro del territorio, se identifica la presencia del ambiente urbano, que hace referencia al proceso de intercambio entre la base natural de una ciudad, la respectiva sociedad allí existente y la infraestructura construida, por consiguiente, es el resultado de diversos procesos de interacción entre tres instancias o subsistemas, la humana o social, la natural y la construida; esta última se refiere a las estructuras del espacio que a su vez son resultado de la dinámica social sobre el territorio urbano pacheco, (2004).

Por lo tanto, al tener en cuenta la configuración ambiental de un determinado espacio, como consecuencia de una construcción y producción constante del territorio, en este caso de estudio: el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira, es oportuno incluir la gestión ambiental como orientación necesaria hacia la planificación y el desarrollo de la misma, ya que, integra elementos para entender las dinámicas de una problemática ambiental, y es utilizada en un proceso de retroalimentación constante que facilita la comprensión del contexto en particular y la realización de las alternativas de solución.

La Universidad Tecnológica de Pereira se convierte en un centro urbano-ciudad, ya que, cuenta con una gran población y prestación de servicios que la hacen adquirir importancia dentro del territorio; de acuerdo con el boletín electrónico de indicadores publicado en el año 2014 la Universidad Tecnológica de Pereira cuenta con 17.613 estudiantes en los programas de pregrado y 1.265 en los de posgrado, cursando sus estudios en jornada diurna, nocturna y jornada en horarios especiales; por lo tanto, se hace necesario generar alternativas de sostenibilidad ambiental para reducir gastos y dar uso eficiente a los recursos utilizados.

El aprovechamiento del agua lluvia requiere ser considerado como alternativa de sostenibilidad, como también para la prevención de riesgos urbanos y regionales. Cosechar la lluvia ha sido una actividad milenaria, practicada por muchas culturas en regiones húmedas y áridas, en contextos de pobreza y de riqueza. La lluvia requiere mayor reconocimiento en las agendas políticas de prevención de desastres y de adaptación al cambio climático. Si los sistemas de captación se

incluyeran ampliamente en la arquitectura y en la normativa urbanística se ahorraría agua potable, se prevendrían inundaciones, sequías y riesgos urbanos en zonas de ladera de gran inestabilidad pacheco, (2004).

La captación y aprovechamiento de las aguas lluvias es una técnica de la ingeniería (y una estrategia de gestión del recurso hídrico) que como tal tiene sus ventajas y desventajas Abdulla y Al-Shareef, (2006).

Ventajas que se obtienen de almacenar y utilizar el agua lluvia:

- Algunos sistemas no requieren de energía para operar.
- Alta calidad físico-química del agua lluvia
- Facilidad en la construcción pues se pueden utilizar materiales de la zona, además implica bajas frecuencias de mantenimiento.
- El agua lluvia no entra en contacto con el suelo y las rocas donde se disuelven las sales y minerales, por lo tanto es suave y puede reducir significativamente la cantidad de jabones y detergentes para la limpieza.
- La recolección y utilización del agua lluvia reduce los costos pagados a las empresas prestadoras del servicio debido a la disminución de los consumos de agua potable.
- Es una tecnología que se está utilizando por ser económica, social y ambientalmente aceptable.
- El agua lluvia es gratis, los únicos costos son los de recolección, almacenamiento y distribución.

Desventajas que presenta la utilización de las aguas lluvias son:

- El agua captada depende de la precipitación del lugar, la cual puede ser incierta, especialmente por las transformaciones de los ecosistemas naturales, debido en parte, al cambio climático.
- Los altos costos iniciales de construcción del sistema (especialmente del tanque de almacenamiento), lo que puede volverlo inaccesible para algunas poblaciones.

El aprovechamiento de agua lluvia es relevante en los contextos urbanos, en los cuales los campus universitarios forman parte del equipamiento comunitario y, a la vez, son un elemento urbano de circulación pública relevante en el territorio donde se encuentre construido; de modo que las iniciativas ambientales que desde estos escenarios surgen logran un impacto alto, no solo en las dimensiones de recursos naturales, sino en el fortalecimiento de capital social y ciudadano, aspectos relevantes para el desarrollo integral de las poblaciones Torres (2012).

Dentro de la política ambiental de la universidad tecnológica de Pereira se Implementan planes, programas, prácticas y técnicas de gestión ambiental, que propician acciones de sostenibilidad para la organización y la comunidad en general; por lo tanto, el aprovechamiento de agua lluvia dentro del campus universitario, es una práctica que se puede llegar a efectuar en las diferentes superficies de las edificaciones después de hacer la presente investigación y evaluar el aprovechamiento potencial de aguas lluvias en el campus.

Actualmente el sistema de aprovechamiento de agua lluvia se encuentra estructurado en dos edificaciones de la universidad; el edificio de ciencias ambientales y en el jardín botánico, con los cuales se disminuyen los consumos de agua potable. Se obtiene así, una reducción en los gastos por dichos consumos, y se da un uso eficiente al recurso, ya que, aquellos sistemas en los cuales el agua potable no es necesaria como lo son las baterías sanitarias, son abastecidos por el agua lluvia.

4.3 MARCO NORMATIVO APLICABLE A ESTE TRABAJO

Colombia es uno de los países más ricos en el recurso hídrico del mundo, pero, a pesar de ello es un país con muchos conflictos sociales, según un informe de la defensoría del pueblo del año 2009 más de la mitad de la población colombiana presenta problemas de abastecimiento de agua potable, por lo cual, se hace necesario la toma de decisiones y aplicación de tecnologías alternativas para afrontar este problema, para ello, las políticas públicas deben integrar, incentivar y garantizar la aplicación de estas alternativas. En Colombia no existe reglamentación específica para el uso y aprovechamiento del agua de lluvia, sin embargo, si se conocen directrices dadas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible en el marco de la construcción sostenible. La reglamentación general del agua que puede ser retomada, se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Explicación Marco Normativo

Decreto	Detalles
Ley 373 de 1997 Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.	Artículo 2.- <i>contenido del programa de uso eficiente y ahorro del agua.</i> El programa de uso eficiente y ahorro de agua, será quinquenal y deberá estar basado en el diagnóstico de la oferta hídrica de las fuentes de abastecimiento y la demanda de agua, y contener las metas anuales de reducción de pérdidas, las campañas educativas a la comunidad, la utilización de aguas superficiales, lluvias y subterráneas, los incentivos y otros aspectos que definan las corporaciones autónomas regionales y demás autoridades ambientales, las entidades prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado, las que manejen proyectos de riego y drenaje, las hidroeléctricas y demás usuarios del recurso, que se consideren convenientes para el cumplimiento del programa.
Decreto 1594 de 1984 Cuanto a usos del agua y residuos líquidos	Artículo 4° los criterios de calidad establecidos en el presente decreto son guías para ser utilizados como base de decisión en el ordenamiento, asignación de usos al recurso y determinación de las características del agua para cada uso.
DECRETO NÚMERO 1575 DE 2007 (Mayo 9) Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano	El objeto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada. Aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios.
	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico ras

Decreto	Detalles
Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básicos	

5 DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Universidad Tecnológica de Pereira pertenece a las 200 universidades más verdes del mundo, según el escalafón de Green Metric que anualmente adelanta la Universidad de Indonesia.

En Colombia cada vez más campus universitarios se transforman para ser sostenibles en el uso de los recursos. El campus de la Universidad tecnológica de Pereira ocupa el quinto puesto de las universidades más sostenibles de Colombia; su campus es el área de conservación más grande de Pereira (Risaralda), tanto que el 60 por ciento de toda la universidad está contenido dentro del ecosistema de bosque andino y adentro de este está el Jardín Botánico de la ciudad.

La Universidad, que cuenta con cerca de 18 mil estudiantes, le apuesta a convertirse en un “aula viva” para la interpretación ambiental, al diseñar sus espacios para que quienes los recorran sepan cómo están compuestos, qué especies allí habitan y qué historia tiene la región.

Uno de los principales referentes es que la universidad tiene una facultad de ciencias ambientales, que cuenta con una formación desde el pregrado con el programa de Administración y Turismo Sostenible y Administración Ambiental, tiene maestrías en ciencias ambientales, eco tecnología, biología vegetal y un doctorado en alianza con la universidad del Cauca, en ciencias ambientales.

El campus de la universidad tecnológica de Pereira configura un sitio de constantes dinámicas sociales, el cual, fue un excelente territorio para realizar esta investigación y generar un espacio de constante desarrollo sostenible y liderar procesos de gestión ambiental Universitaria.

La Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), localizada en la vereda "La Julita" sur oriente del municipio, departamento de Risaralda – Colombia a 4°63'69.11" de latitud norte y a 74°08'38.15" al oeste del meridiano de Greenwich (Figura 2); la temperatura promedio de la zona es de 22°C, la altura es de 1.411 m.s.n.m. Comprende un área de 5.185,02 m².

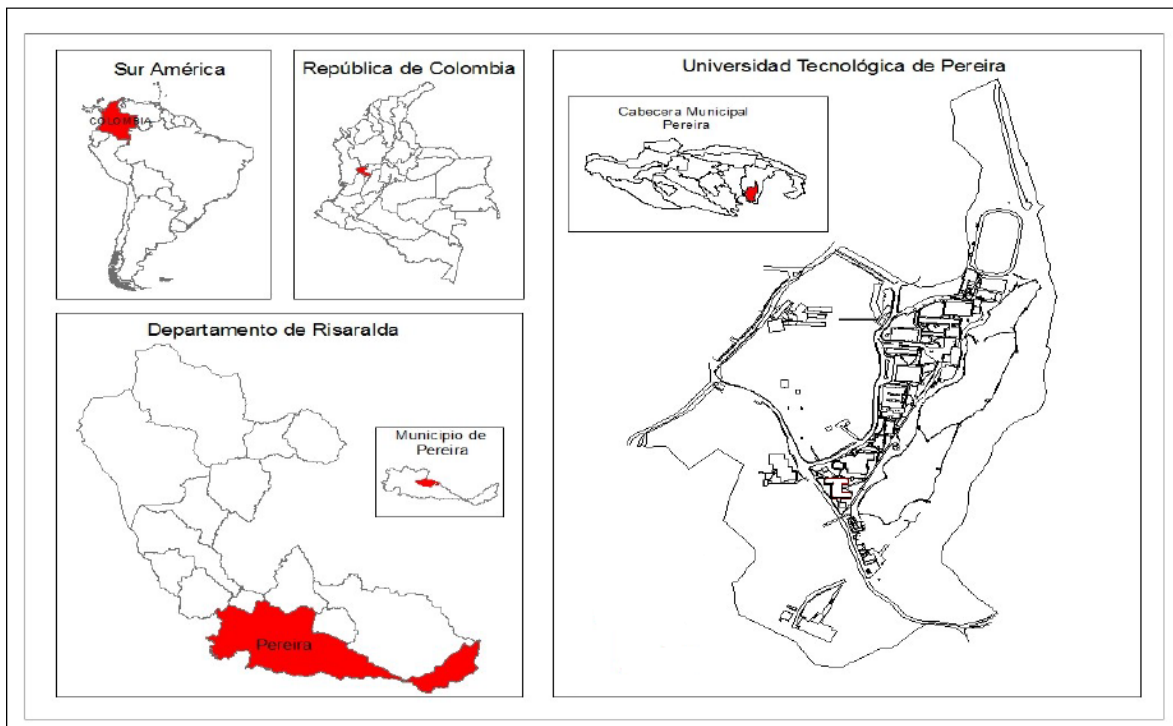


Figura 2. Localización universidad tecnológica de Pereira. (Tomado de Sarmiento- Ocampo, F; Trujillo, 2012)

5.2 DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS

Para el desarrollo de los objetivos planteados, la presente investigación seleccionó el edificio como escala de análisis, dando prioridad sobre los que concentran el mayor consumo de agua. Para esto

se acudió a los registros existentes en la oficina de Planeación de la Universidad, la Vicerrectora Académica, imágenes satelitales de Google Earth pro y levantamiento primario de información.

En relación con el cumplimiento de los objetivos propuestos se exponen los métodos y herramientas que serán utilizados.

Como punto de partida para el desarrollo de este objetivo, la presente investigación se basó en los datos obtenidos de diferentes fuentes primarias y secundarias dentro del campus universitario. Para establecer los datos de oferta potencial de agua de lluvia, se solicitó dicha información a la Red Hydroclimatológica del Departamento de Risaralda que administra la UTP (ver anexo 1). Esta información fue procesada estadísticamente para modelar la oferta de agua de lluvia y simular diferentes escenarios con valores máximos, mínimos y medios diarios, mensuales y anuales. Como herramienta de cálculo se empleó el software Precipita GAT desarrollado por Morales-Pinzón, T; Flórez, M T; Orozco, I E. (2016). Precipita GAT v1.0. Patrones simulados de precipitación diaria y modelación básica de sistemas de aprovechamiento de agua no convencional (pluviales y grises) para uso doméstico, desarrollado por el Grupo de Investigación Gestión Ambiental Territorial (GAT), Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia).

Este software es una aplicación desarrollada para contribuir en el dimensionamiento de sistemas de agua no convencional en sistemas urbanos, presentando indicadores de eficiencia e incorporando estimaciones a partir de modelos desarrollados anteriormente sobre potenciales emisiones de gases de efecto invernadero considerando el ciclo de vida de estos sistemas Morales-Pinzón, T; Flórez, M T; Orozco, I E. (2016).

Para establecer la demanda potencial de agua lluvia, se solicitó información a la vicerrectoría académica de la Universidad Tecnológica de Pereira, referente al número de estudiantes inscritos por cada programa, se usaron datos de las estadísticas de la página web de la Universidad Tecnológica de Pereira, para tener datos promedios del número de docentes, administrativos y demás personal del campus; como también, se utilizó Google Earth Pro, para de esa manera, tener un acercamiento a los edificios del campus y lograr medir por medio de polígonos el área de cada techo y tener unas medidas promedio de referencia.

Esta información fue procesada estadísticamente para modelar la demanda de agua de lluvia; como herramienta de cálculo se empleó el software Precipita GAT desarrollado por Morales-Pinzón, T; Flórez, M T; Orozco, I E. (2016). Precipita GAT v1.0. Patrones simulados de precipitación diaria y modelación básica de sistemas de aprovechamiento de agua no convencional (pluviales y grises) para uso doméstico. Grupo de Investigación Gestión Ambiental Territorial (GAT), Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia).

5.3 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA PRECIPITA GAT

Al tener la oferta de agua lluvia para el Campus de la UTP, el área en m² de cada superficie de los edificios de la Universidad Tecnológica de Pereira, como también los datos de la demanda total de agua, la cual representa la cantidad de agua consumida en cada edificio del campus (se hace la aclaración que son datos de un consumo promedio por edificio, ya que, es muy difícil establecer una demanda exacta sin medidores en cada edificio); se utilizó el software Precipita GAT para modelar los datos obtenidos y de esta manera se estimó la oferta potencial y demanda potencial del agua lluvia en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira en sus diferentes superficies de las edificaciones.

Para empezar a modelar el software requirió unos datos definidos para hacer los cálculos referentes en cada edificio.

La información solicitada en el software es:

- Demanda doméstica de agua. Es la demanda total de agua para uso doméstico (L/día).
- Demanda de agua de lluvia (usos no potables). Es la demanda total de agua de lluvia para uso doméstico (L/día). Es calculada por el programa.
- Lavado de ropa. Es la demanda de agua de lluvia que puede ser usada en lavado de ropa (L/día).

- Frecuencia de lavado de ropa. Se define como el intervalo de tiempo requerido para realizar la actividad de lavado de ropa (días).
- Inodoros. Es la demanda de agua de lluvia destinada a inodoros (L/día)
- Otros usos. Otros usos potenciales aptos para el agua de lluvia (riego, lavado de pisos) (L/día)
- Demanda doméstica de agua gris (usos no potables). Se refiere específicamente a la demanda potencial de agua no potable en uso doméstico (L/día). Es calculada por el programa.
- Inodoros. Es la demanda de agua gris destinada a inodoros (L/día)
- Otros usos no potables. Otros usos potenciales aptos para el agua gris (riego) (L/día)
- Demanda de agua potable. Los restantes usos domésticos de agua se consideran deben ser satisfechos por el agua de red (L/día). Es calculada por el programa.
- Superficie de captación. Corresponde a la superficie potencial de captación de agua de lluvia por parte del sistema (L/día).
- Usuarios (personas/día). Número de personas que sirve el sistema en sus diferentes usos de agua. Se asume que todas las personas demandan agua en los mismos usos y cantidades (L/día).
- Coeficiente de escorrentía (0-1). Factor utilizado para calcular la oferta de agua de almacenamiento (L/día).

- Escorrentía superficial inicial. Límite de precipitación acumulada diaria que se considera no alcanza a ingresar al sistema (mm). En la práctica solo se consideran precipitaciones acumuladas diarias superiores a este valor.
- Coeficiente de filtración (0-1). Factor aplicado por el sistema de filtrado de agua que posee el sistema causando disminución de la oferta potencial de agua de lluvia que ingresa al sistema (adimensional).
- Capacidad de almacenamiento agua de lluvia. Volumen efectivo del depósito que puede ser llenado con el agua de lluvia (L/día).
- Capacidad de almacenamiento agua gris. Volumen efectivo del depósito que puede ser llenado con el agua gris (L/día).
- Escala del sistema. El sistema puede ser dimensionado en diferentes escalas: Para la estimación de los indicadores de impacto por emisiones potenciales de gases de efecto invernadero, se define la escala del sistema así: 1. Vivienda de baja densidad unifamiliar, 2. Vivienda de baja densidad bifamiliar, 3. Viviendas de baja densidad, en aglomerado tipo barrio; 4. Vivienda de alta densidad tipo edificio de apartamentos; 5. Vivienda de alta densidad tipo conjunto residencial de edificios de apartamentos. (Adimensional)
- Sistema de bombeo. Al definir la escala del sistema, es necesario definir si existe bombeo asignado un valor de uno (1) o de cero (0) si no existe bombeo.

Para calcular los parámetros a introducir en el software, se utilizaron los datos de oferta y demanda obtenidos realizando un balance de agua de lluvia en una tabla de Excel.

Una vez realizados los ajustes del sistema, se seleccionó para esta investigación los datos de: Demanda de agua para inodoros, usuarios (personas/día), superficie de captación en m², escala del sistema # 5 (vivienda de alta densidad tipo conjunto residencial de edificios y apartamentos), se regresa al menú principal y se ingresa a la selección del patrón de precipitación; de acuerdo al factor de precipitación mensual de la ciudad de Pereira.

Para la oferta de agua, se seleccionó del software el patrón correspondiente a la ciudad de Pereira. Una vez seleccionado el patrón se generó la simulación para actualizar los gráficos; este procedimiento se realizó a cada edificio del campus de la Universidad Tecnológica de Pereira seleccionado para esta investigación.

5.4 DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS

Tomando con base los resultados de los análisis del balance entre la oferta y demanda de agua de lluvia en cada uno de los edificios seleccionados, y considerando como uno de los criterios el porcentaje de satisfacción de esta demanda y el potencial de impacto por emisiones de gases de efecto invernadero, se plantean estrategias generales que pueden ser implementadas en el marco de la política ambiental institucional.

6 OFERTA POTENCIAL DE AGUA DE LLUVIA Y ESTRATEGIAS PARA SU APROVECHAMIENTO

6.1 Demanda de agua en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira

Los datos recolectados evidencian que los edificios con mayor número de estudiantes son el bloque Y con un promedio de 3.216 estudiantes, seguido del bloque de Industrial con un promedio de 2.395 estudiantes (ver Figura3).

Partiendo del estudio desarrollado por Manco-Silva et al. (2016), asumiendo que la demanda de agua para uso en el campus es principalmente para las baterías sanitarias y considerando que el 90% del total se destina para este uso, se puede conocer la demanda potencial de agua que no requiere calidad del agua de red. Es así como se encontró que la demanda total de agua para este uso es de 198.113 L/día en los 13 edificios. De estos el que más demanda tiene es el bloque Y con un valor de 34.632 L/día, seguido del bloque S con un valor de 27.822 L/día , y el que menor tiene es Bienestar Unversito cn un valor de 595 L/día (ver Tabla 2).

Tabla 2. Demanda de agua en edificios de la UTP

Bloque/Edificio	Demanda de agua (litros / día)	Demanda uso no potable (litros/día)	Demanda de agua (m ³ /año)	Demanda agua no potable (m ³ /año)
Y	38.480	34.632	14.045	12.641
H	23.265	20.938	8.492	7.642
S	30.913	27.822	11.283	10.155
Industrial	28.217	25.395	10.299	9.269
Mecánica	12.696	11.426	4.634	4.170
Eléctrica	24.821	22.338	9.059	8.154

Bloque/Edificio	Demanda de agua (litros / día)	Demanda uso no potable (litros/día)	Demanda de agua (m ³ /año)	Demanda agua no potable (m ³ /año)
L	8.244	7.420	3.009	2.708
F	16.056	14.450	5.860	5.274
Bienestar	661	595	241	217
Cri	14.413	12.972	5.261	4.735
La Julita	5.998	5.398	2.189	1.970
Química	5.522	4.970	2.016	1.814
Biblioteca JRM	10.842	9.758	3.957	3.562
Total	220.125	198.113	80.346	72.311

La mayor demanda corresponde a los estudiantes, ya que, son más estudiantes que administrativos y docentes, con un valor de 10,5 L/día. La demanda total para los docentes es de 31 L/día y la demanda para administrativos es de 5,2 L/día (Manco-Silva et al.,2016) .

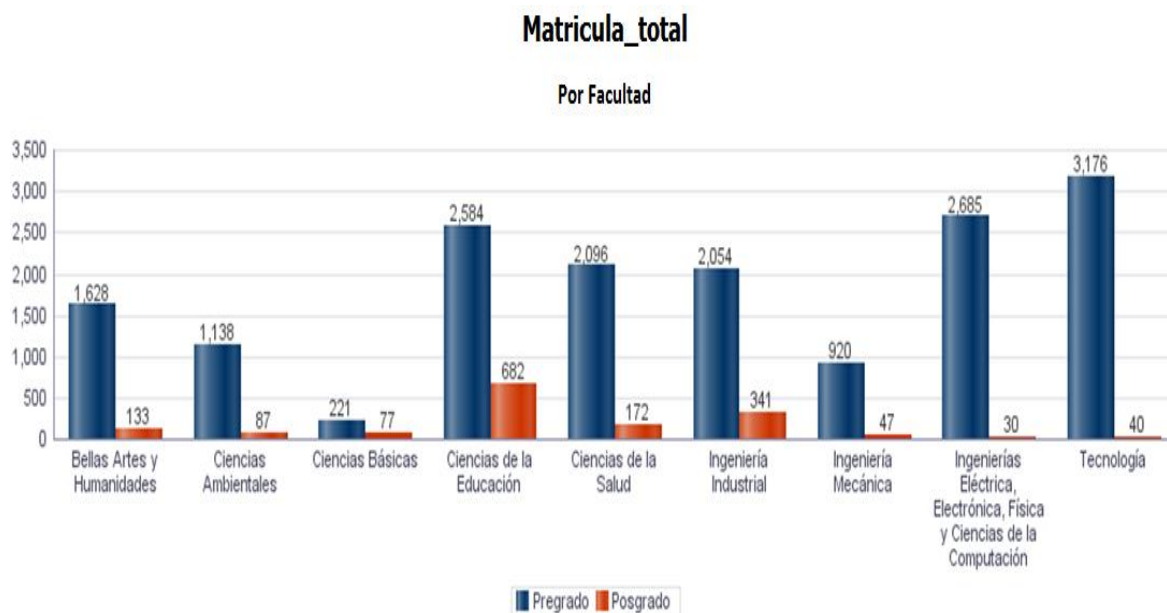


Figura 3. Matrícula total de estudiantes de pregrado y posgrado por facultad. Estadísticas e indicadores estratégicos. Vicerrectoría Académica, Universidad Tecnológica de Pereira.

Tabla 3. Composición de la población en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira (año 2015)

Bloque	Pregrado	Posgrado	Docentes	Administrativos	Total usuarios
Y	3.176	40	143	9	3.368
H	1.628	133	145	9	1.915
S	2.096	172	217	12	2.497
Industrial	2.054	341	97	2	2.494
Mecánica	920	47	78	4	1.049
Eléctrica	1.643	30	170	64	1.907
L	221	77	165	0	463
F	1.138	87	94	9	1.328
Bienestar	28	0	0	12	40
Cri	1.042	0	70	42	1.154
La Julita	462	0	33	4	499
Química	396	0	42	2	440
Biblioteca JRM	979	0	0	18	997
Total	15.783	927	1.254	187	18.151

6.2 Balance de agua de lluvia en el campus de la UTP

Las estimaciones de la demanda de agua para docentes, estudiantes otros usuarios, están basadas en el trabajo realizado por Manco-Silva et al. (2016) (ver Tabla 4).

Con una precipitación media de 2.300 mm/año, la oferta total de agua de lluvia en el campus (considerando solo los 13 edificios evaluados) es de 45.100 m³/año; los resultados del software indicaron que la oferta potencial de agua de lluvia es mayor en el edificio de la Julita con un valor

de 4.846. El de menor oferta de agua de lluvia es Bienestar Universitario con un valor de 1.573 m³/año.

Lo anterior se explica a partir del comportamiento del sistema modelado que depende de la superficie de captación, la capacidad de almacenamiento, la demanda de agua (la cual depende del número de personas) y la oferta pluviométrica.

Tabla 4. Oferta de Agua de Lluvia en la UTP

Población	Demanda (L/día)
Estudiantes	10,5
Docentes y administrativos	31
Cafetería	5,2

Bloque	Superficies de captación (m²)	Oferta potencial agua de lluvia (m³/año)	Balance
Y	2.041	4.694	0,37
H	2.705	6.222	0,81
S	893	2.053	0,20
Industrial	1.101	2.532	0,27
Mecánica	1.593	3.664	0,88
Eléctrica	2.039	4.690	0,58
L	1.209	2.781	1,03
F	1.547	3.558	0,67
Bienestar	684	1.573	7,25
Cri	881	2.026	0,43
La Julita	2.107	4.846	2,46
Química	1.651	3.797	2,09
Biblioteca JRM	1.158	2.663	0,75
Total	19.609	45.100	0,62

Al finalizar la modelación se obtuvieron resultados similares en los edificios modelados, logrando así el volumen de los tanques requerido para hacer el aprovechamiento de agua pluvial por edificio, como también, el volumen (m³/año) de agua pluvial que se podría aprovechar en cada tanque de almacenamiento (ver Tabla 5). Para esto se tuvo en cuenta un criterio del 5%, el cual se estableció en los datos exportados por edificio, llegando a la conclusión que un deposito más grande no va a satisfacer más demanda, ya que, llega un punto donde se estabiliza la demanda y aumentar el volumen del depósito no aumentara significativamente la demanda satisfecha, solo generara sobrecostos en el sistema.

Tabla 5. Resultados simulación por edificio.

Bloque	Volumen deposito simulado (m³)	Uso agua lluvia (m³/año)	Uso de agua de red (m³/año)	Total uso esperado de agua (m³/año)	Porcentaje demanda satisfecha
Y	20	2.279	11.766	14.045	18,0%
H	4	725	7.766	8.492	9,5%
S	14	1.219	10.064	11.283	12,0%
Industrial	16	1.464	8.835	10.299	15,8%
Mecánica	18	1.756	2.878	4.634	42,1%
Eléctrica	20	2.251	6.809	9.059	27,6%
L	14	1.363	1.646	3.009	50,3%
F	16	1.815	4.045	5.860	34,4%
Bienestar	1,4	165	76	241	76,2%
Cri	14	1.254	4.007	5.261	26,5%
La Julita	14	1.455	734	2.189	73,9%
Química	9	1.120	895	2.016	61,8%
Biblioteca JRM	14	1.368	2.571	3.939	38,4%
Total		18.235	62.093	80.328	25%

6.3 Evaluación del impacto potencial ambiental

Para la evaluación de los impactos ambientales se llevó a cabo la simulación en el software Precipita GAT que permitió evaluar el posible impacto ambiental de suministros de agua alternativo, en este caso aprovechamiento de agua lluvia en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira, se valoraron algunos impactos ambientales asociados al uso potencial de aguas lluvias y se modeló en el software Precipita GAT, de acuerdo al volumen de almacenamiento dado en la primera modelación por edificio del campus de la Universidad Tecnológica de Pereira, para el primer objetivo.

Como una contribución a la evaluación ambiental de los efectos del aprovechamiento del agua no convencional, se adicionó una estimación de los potenciales gases de efecto invernadero asociados al sistema, conforme a los modelos propuestos por (Morales-Pinzón, Lurueña, Rieradevall, Gasol, & Gabarrell, 2012a)

A continuación se muestran los resultados de los impactos ambientales asociados a los gases de efecto invernadero (kg CO₂ eq. /año), por edificio del campus de la Universidad Tecnológica de Pereira (ver tabla 6).

Para concluir si los sistemas de aprovechamiento de agua son viables para implementarlos en algunos edificios del campus de la Universidad Tecnológica de Pereira, se deben tener en cuenta una serie de condiciones, como son los impactos ambientales (emisiones de CO₂) que genera cada sistema; para esto se tuvo en cuenta los resultados obtenidos en la simulación en el programa Precipita GTA para los diferentes edificios del campus de la Universidad Tecnológica de Pereira, además, se utilizaron datos de investigaciones anteriores realizadas por Muñoz (2010) que estudia el uso de agua de red en un sistema que requiere bombeo, teniendo este unas emisiones de 0,81 kg CO₂ eq/m³.

Tabla 6. Resultados de impactos ambientales asociados a los gases de efecto invernadero

Bloque	Impacto potencial por emisiones de CO ₂ en kg eq./m ³	
	Agua de lluvia	Impacto potencial evitado con relación al agua de red
Y	0,30	0,51
H	0,23	0,58
S	0,18	0,63
Industrial	0,33	0,48
Mecánica	0,25	0,56
Eléctrica	0,27	0,54
L	0,23	0,58
F	0,24	0,57
Bienestar	0,18	0,63
CRI	0,27	0,54
La Julita	0,21	0,60
Química	0,21	0,60
Biblioteca JRM	0,25	0,56

De acuerdo a los resultados obtenidos, el aprovechamiento de agua pluvial en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira es una alternativa viable no solo en términos económicos, sino también ambientales; ya que su impacto es inferior al impacto generado por el uso de agua de red de un sistema convencional.

6.4 Estrategias para el aprovechamiento del agua de lluvia

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el aprovechamiento de agua lluvia es viable para los trece edificios estudiados de la Universidad Tecnológica de Pereira, por lo tanto, se definieron unas estrategias claves. Así, teniendo en cuenta los resultados obtenidos y el análisis ambiental, se observa que la alternativa más eficiente es un sistema simple sin bombeo que consiste en la captación de agua en techos, transportada a través de canaletas y bajantes, filtrada por una rejilla y posteriormente almacenada en un tanque de plástico con tapa, desde donde se distribuirá en la red de tuberías gracias a la gravedad, hasta ser utilizada en las baterías sanitarias de los diferentes bloques de la Universidad Tecnológica de Pereira, este sistema representa un bajo costo y de menor impacto ambiental, pues este impacto solo se generaría en la fabricación de los materiales e insumos para implementarlo; se recomienda entonces realizar mantenimiento periódico a este tipo de sistemas para que este no se convierta en un vector de zancudos, como también realizar mantenimiento a las canales para extraer el material que se sedimenta (ver Figura 4).

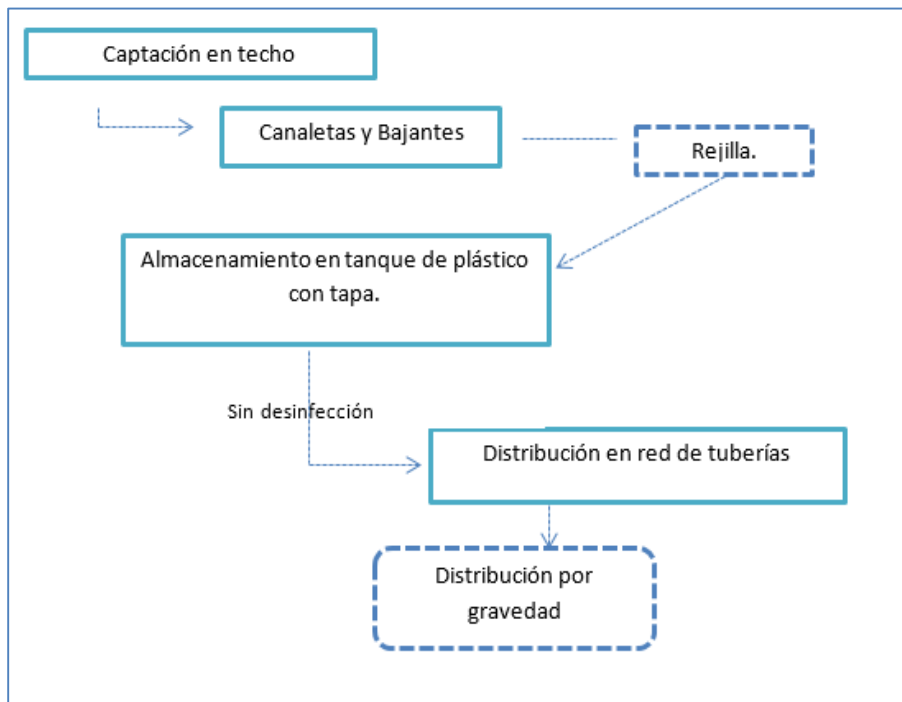


Figura 4. Esquema general de un SAT. Tomado de Baena, C E (2016)

Se podría utilizar un sistema de bombeo para el aprovechamiento de agua lluvia en algunos edificios del Campus de la Universidad Tecnológica de Pereira, pero no es recomendable este tipo de sistemas, ya que, generaría un mayor impacto ambiental y sería de mayor costo económico por el gasto energético que este sistema necesita para desempeñarse.

Debido a que existe un porcentaje de la oferta potencial de agua de lluvia que no es utilizado por el sistema en cada edificio y en el campus (ver tablas 4 y 5), se encuentra que el 40,4% se destinaría al uso sanitario bajo las condiciones modeladas, mientras que la restante oferta no sería aprovechada, por lo tanto, se puede destinar para otros usos como lo son lavado de instalaciones del Campus Universitario o para riego, por medio de tanques de almacenamiento y un sistema de red simple que distribuya el agua por todo el campus universitario para esos usos.

Al modelar en el software PrecipitaGAT, se pudo analizar que hay edificios con oferta de agua que no utilizan, esta no se puede usar en el mismo sistema porque no tiene más demanda, por lo tanto, se sugiere utilizar el agua sobrante en otros edificios de mayor demanda, esto se puede lograr ya que la topografía del campus consta de una pendiente que se puede aprovechar para bajar el agua por gravedad a otros edificios.

Estas estrategias se deben incorporar en la política Ambiental de la Universidad Tecnológica de Pereira, para que se conviertan en las directrices de los proyectos que se ejecutan en la Universidad.

7 CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos se puede decir que la presente investigación es técnicamente viable para hacer aprovechamiento de agua pluvial en la mayoría de los edificios del campus de la Universidad Tecnológica de Pereira, puesto que la precipitación de la zona, y la superficie de captación por edificio lograría abastecer baterías sanitarias, de esa manera se ahorraría el uso de agua potable y habría una reducción económica y ambiental.
- Los sistemas de aprovechamiento de agua son una alternativa viable en centros educativos para el consumo de agua no potable, por su fácil implementación, bajo impacto ambiental y ahorro.
- En los edificios donde hay poca captación de agua lluvia, aún es interesante implementar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, ya que, los impactos ambientales son menores a los de agua de red.
- Conectar por red edificios que capten más agua con otros edificios de menor captación para de esa manera aprovechar el agua sobrante en otros edificios con mayor demanda.
- El porcentaje de demanda satisfecha estimado en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira, para los 13 edificios evaluados es del 25%, por lo tanto es un potencial grande de aprovechamiento de agua lluvia que debe ser considerado por la institución.

8 RECOMENDACIONES

- El aprovechamiento del agua lluvia no debería permanecer, como lo es hoy día, una actividad aislada de los programas nacionales y locales, sino convertirse en una estrategia que reafirma el camino hacia la sostenibilidad urbana para la satisfacción de necesidades vitales del conjunto de la población. La gestión ambiental universitaria a partir del aprovechamiento de agua pluvial en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira es una alternativa viable que reduciría la presión sobre los acueductos y redes de alcantarillado existentes, generando así unos beneficios económicos y ambientales.
- Se debe implementar sistemas simples que no necesiten bombeo para de esa manera, tener mayor beneficio económico y menor gasto energético.
- Se debe incorporar en la política ambiental de la Universidad lineamientos para que los nuevos edificios siempre tengan sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.
- Se recomienda investigar otras opciones de fuentes alternativas de agua, como por ejemplo el uso de aguas grises.

9 BIBLIOGRAFIA

- Arango, N, Flores, J. (2012). Sistema de recolección, almacenamiento y conservación de aguas lluvias para el abastecimiento de agua potable a los habitantes del Pacífico Colombiano en zonas rurales de difícil acceso con ausencia o deficiencia del recurso. Universidad Icesi, Facultad de ingeniería. Santiago de Cali.
- Elke, M. Proyecto Experimental: Una Sistema para Captar Aguas Pluviales y filtración para La Universidad de ECOSUR.
- Estupiñán, J. (2010). Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá
- Informe sobre desarrollo humano 2007-2008
- Pacheco, M. (2009). La gestión del agua lluvia y la reducción de riesgos urbanos. Recuperado de <http://www.eird.org/plataformatematica-riesgo>
- Palacio, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Facultad de Ingeniería – Facultad de Ciencias Básicas |21 Ospina, O. & Moyano, Y. (2015). institución educativa María Auxiliado
- Arroyave, J. (2011). Evaluación Económica De La Captación De Agua Lluvia Como Fuente Alternativa De Recurso Hídrico En La Institución Universitaria Colegio Mayor De Antioquia. Producción + Limpia.
- Duarte, L., & Echeverry, J. I. (2004). Estudio para la reutilización de las aguas lluvias en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana. Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá. , Bogotá - Colombia.
- Echevarría M y Rincón A. Ciudad de territorialidades, polémicas de Medellín. Investigaciones 22. Universidad NACIONAL De Colombia CEHAP Centro de Estudios de Habitat Popular. 2000.
- FAO (2000). Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia Experiencias en América Latina, Serie: Zonas Áridas y Semiáridas Santiago de Chile.

- Fletcher, T. D., Deletic, A., Mitchell, V. G., & Hatt, B. E. (2008). Reuse of Urban Runoff in Australia: A Review of Recent Advances and Remaining Challenges. *J. Environ. Qual.*, 37(5_Supplement), S-116-S-127.
- García M; Morales T; Guerrero J. 2014. Análisis de flujos de agua en áreas metropolitanas desde la perspectiva del metabolismo urbano. *Revista Luna Azul*, núm. 39, pp. 234-249, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
- García Serna, María Isabel; Morales-Pinzón, Tito & Guerrero Erazo, Jhoniers (2014) Análisis de flujos de agua en áreas metropolitanas desde la perspectiva del metabolismo urbano
- Gomes, J., Weber, D., & Delong, C. (2010). Dimensionamento de Reservatórios de Armazenamento de Águas Pluviais, usando um Critério Financeiro. *Diretoria da ABRH*, 89.
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. IDEAM. Estudio nacional del agua. 2015
- International rainwater harvesting alliance Irha 2008, activities reports.
- Kahinda J, Taigbenu A, Boroto R. Domestic rainwater harvesting as an adaptation measure To climate change in South Africa. *Phys Chem Earth* 2010;35:742–51.
- Manco-Silva, D., Guerrero-Erazo, J., Morales-Pinzón, T. (2016). Estimación de la demanda de agua en centros educativos: caso de estudio facultad de ciencias ambientales de la universidad tecnológica de Pereira, Colombia. *Revista Luna Azul*. En edición. Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
- Mitchell, V., McCarthy, D., Fletcher, T., & Deletic, A. (2005). Optimising storage capacity for stormwater utilisation. *Proc of 10th ICUD*.
- Morales, T, Flórez, M.T. y Ramírez, C.L. 2011. Indicadores ambientales para el estudio de la dinámica del recurso hídrico en Risaralda. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira
- Neila, J. (2000). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible: buenas prácticas edificatorias. Ciudades para un futuro más sostenible.* . Madrid-España.
- Osuna Vargas, M. (2013). Avanzando hacia el desarrollo sostenible Reutilización del agua lluvia. *Revista del Agua. Colombia* 30 agosto 2013 18:37. <http://www.gerfor.com/index.php/gerfor-menu/revistas-del-agua/revista-del-agua-1/item/130-avanzando-hacia-el-desarrollo-sostenible-reutilizacion-del-agua-lluvia>

- Pacheco, M. (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de “Lluviatl” en México. Revista Interna
- Pacheco, M. 2004. Humanising Rainwater. SEARNET briefs, December 2004. Nairobi.
- Ramírez, J. (2009). Construcción verde en concreto. Noticreto, revista de la técnica y la construcción, 2, 20-27.
- Rojas, T. Sánchez, M. Birrichaga, D. Escobar, A. 2009. Semblanza Histórica del Agua en México, Comisión nacional del agua, Coyoacán, México DF.
- Sturm, M., Zimmermann, M., Schütz, K., Urban, W., & Hartung, H. (2009). Rainwater harvesting as an alternative water resource in rural sites in central northern Namibia. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 34(13-16), 776-785.
- Suárez, J., García, M., & Mosquera, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Paper presented at the VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água João Pessoa (Brasil), 5 a 7 de junho de 2006.
- Torres, A. (2012) Hacia equipamientos urbanos sostenibles: aprovechamiento de aguas lluvias en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá
- Torres, A. 2012 Hacia equipamientos urbanos sostenibles: aprovechamiento de aguas lluvias en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá
- Trujillo Cardona, C. (2010). Estrategias de uso eficiente y ahorro de agua en centros educativos, caso de estudio, edificio de la Facultad de Ciencias Ambientales – Universidad Tecnológica de Pereira. Trabajo de grado (Administración Ambiental). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales. Pereira 2010.
- United nations (UN), 2003
- Water for people, water for life executive summary of the un world water development report sep 2003
- Zhang, Y., Chen, D., Chen, L., & Ashbolt, S. (2009). Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. Journal of environmental management, 91(1), 222-226.
- Zhang,y;Chen, Dr, Chen, L; & Ashbolt, S. (2009) potential for rainwater use in highrise building in Australian cities. Journal of environmental management.

10 ANEXOS

10.1 Imágenes satelitales del campus de la Universidad Tecnológica de Pereira utilizando como herramienta Google Earth pro.

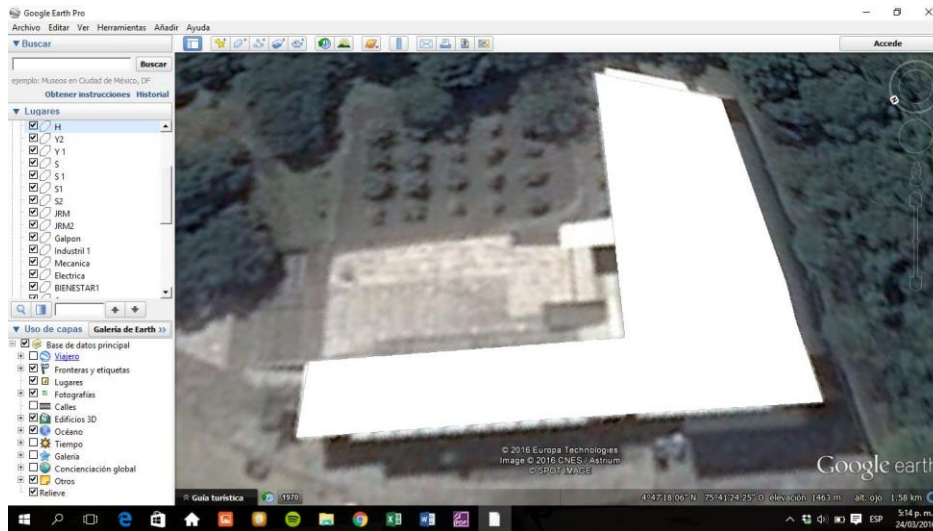


Imagen 1: superficie de captación en m², edificio bloque H Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro

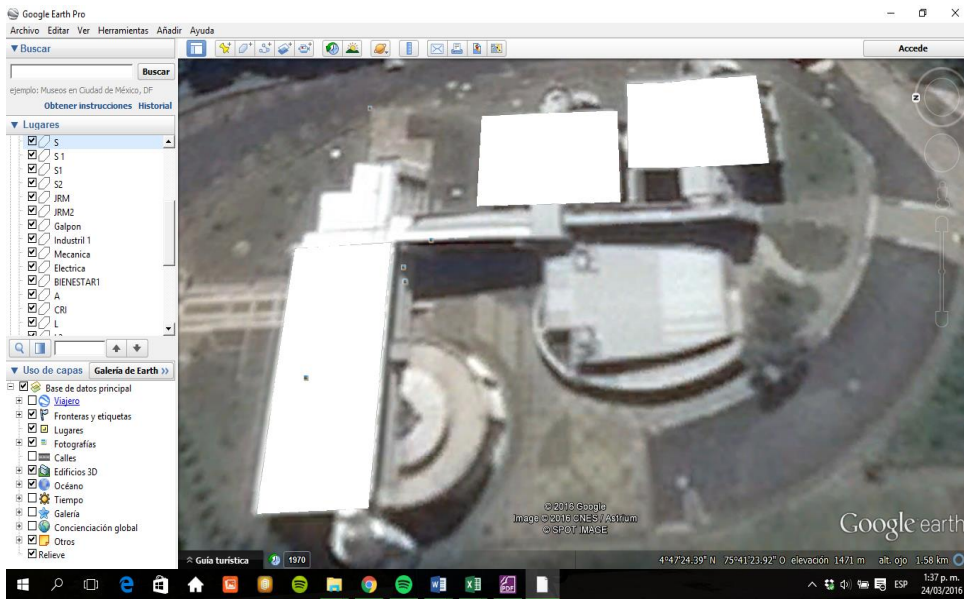


Imagen 2. Superficie de capitación en m², edificio bloque Y

Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro

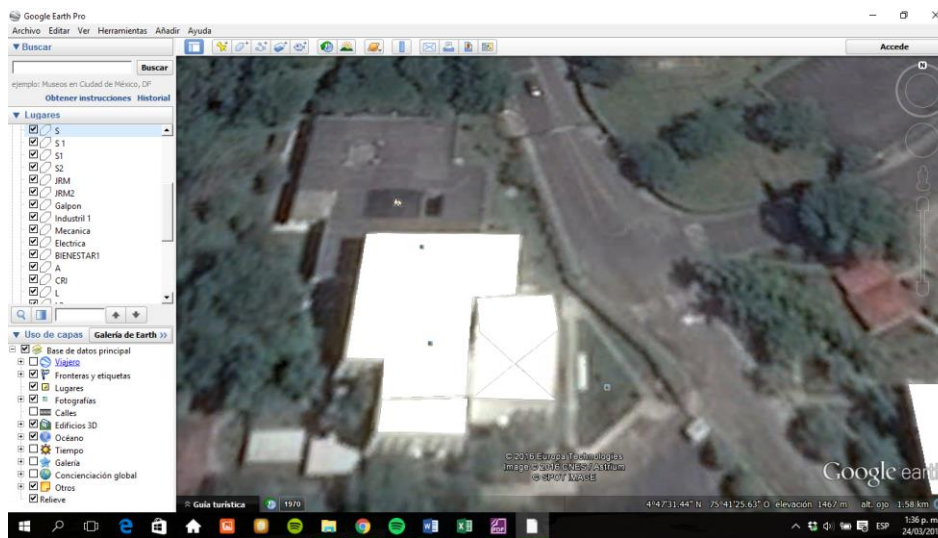


Imagen 3. Superficie de capitación en m², edificio bloque S Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro



Imagen 4. Superficie de capitación en m², edificio bloque F Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro

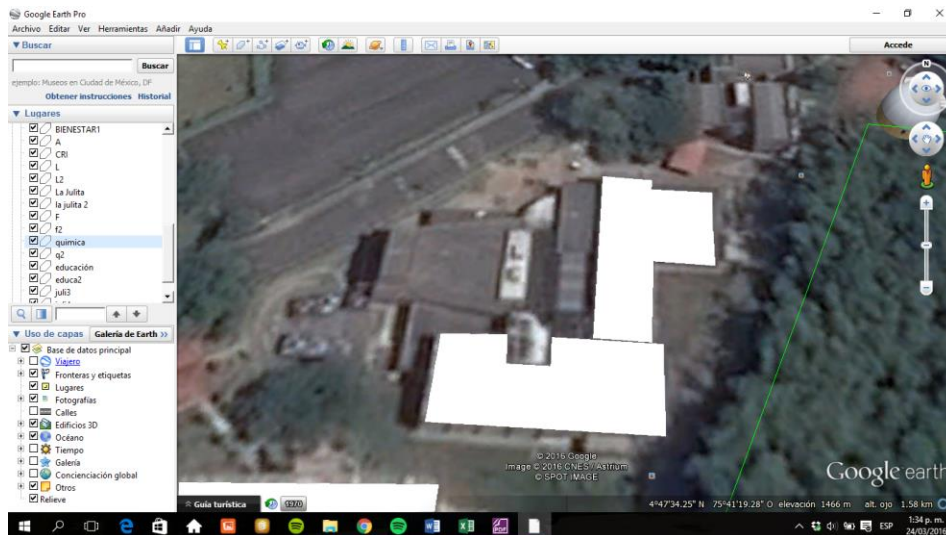


Imagen 5. Superficie de capitación en m², edificio Jorge Roa Martínez, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro

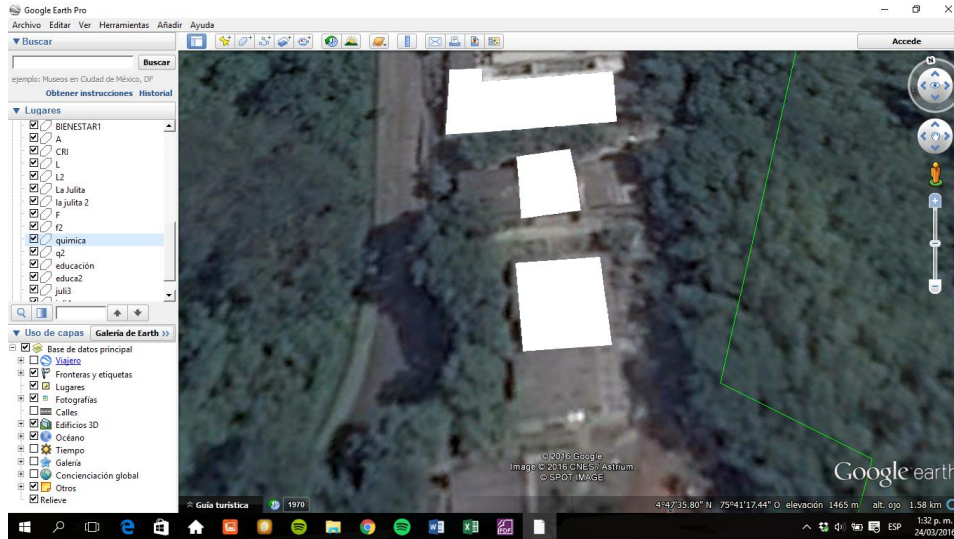


Imagen 6: Superficie de capitación en m², edificio de educación, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro

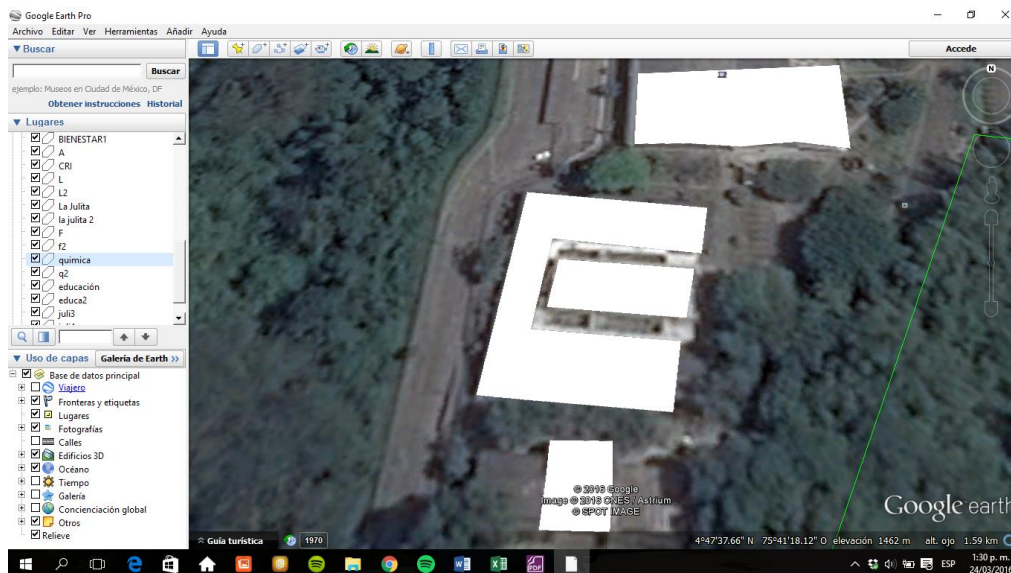


Imagen 7. Superficie de capitación en m², edificio de Química, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro

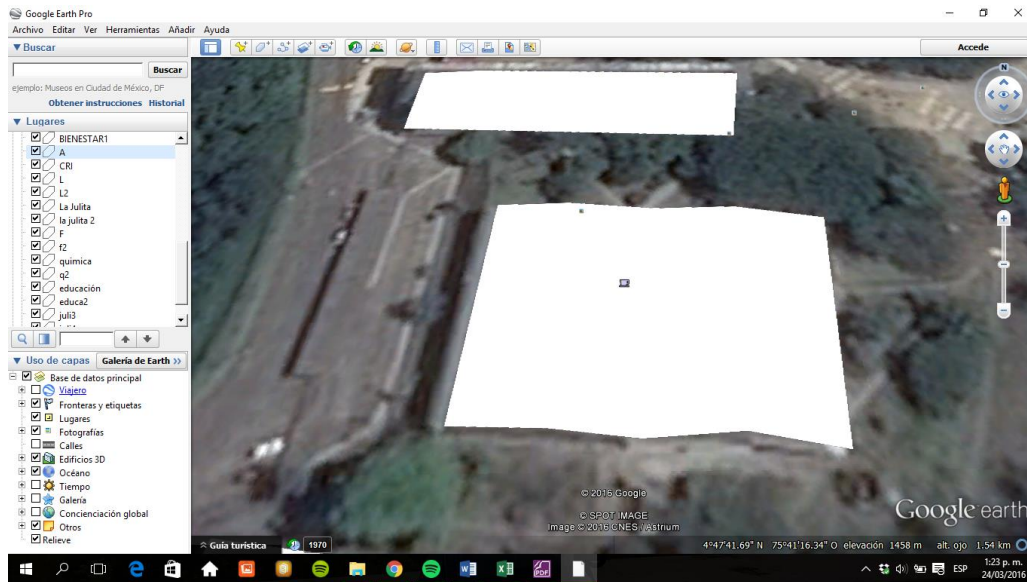


Imagen 8. Superficie de capitación en m², edificio galpón, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro

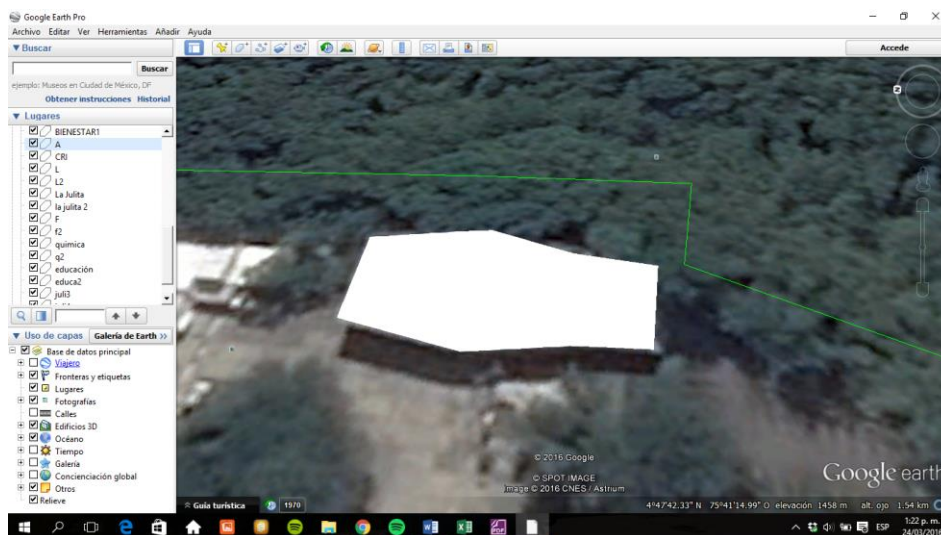


Imagen 9. Superficie de capitación en m², edificio CRI, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro

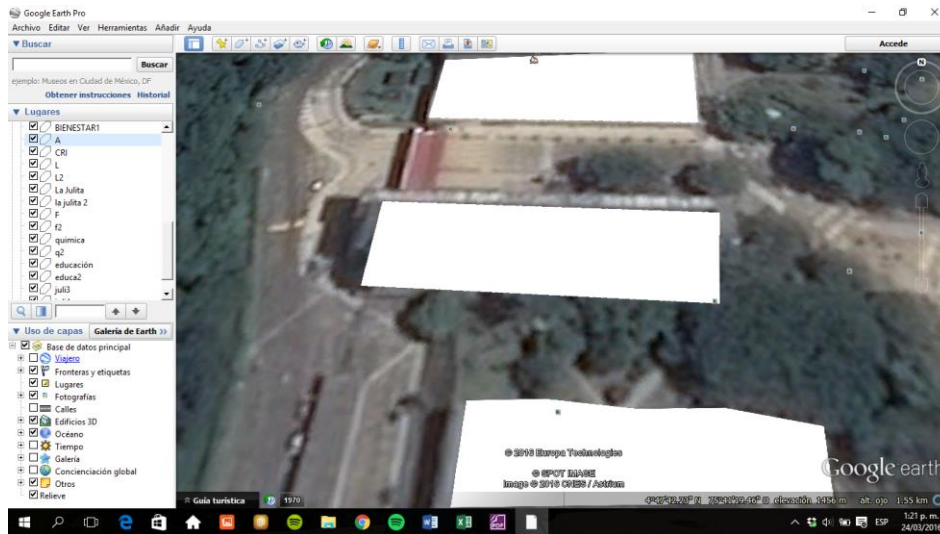


Imagen 10. Superficie de capitación en m², edificio Industrial, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro

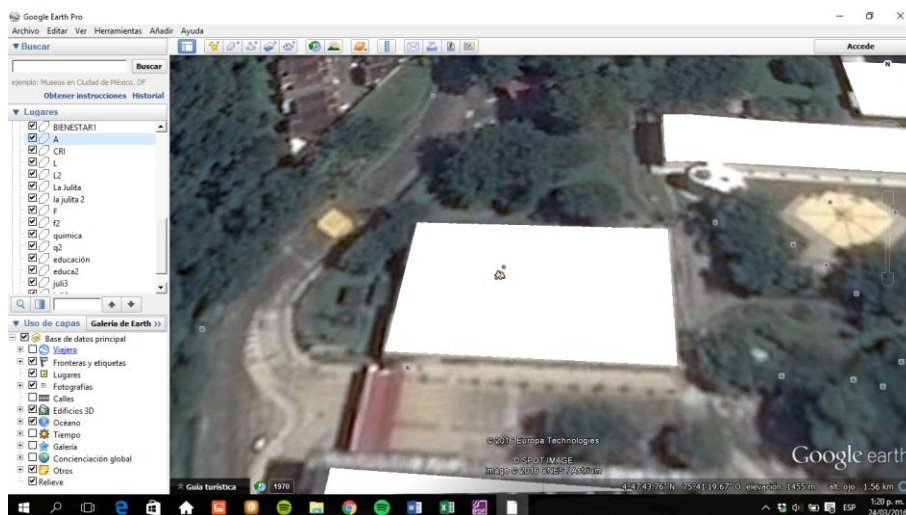


Imagen 11. Superficie de capitación en m², edificio Mecánica, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro

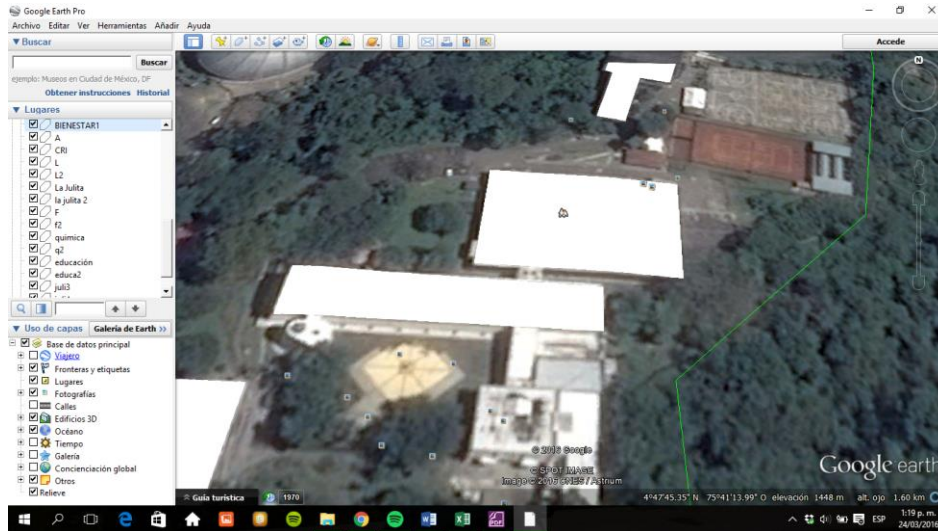


Imagen 12. Superficie de capitación en m², edificio Eléctrica, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro

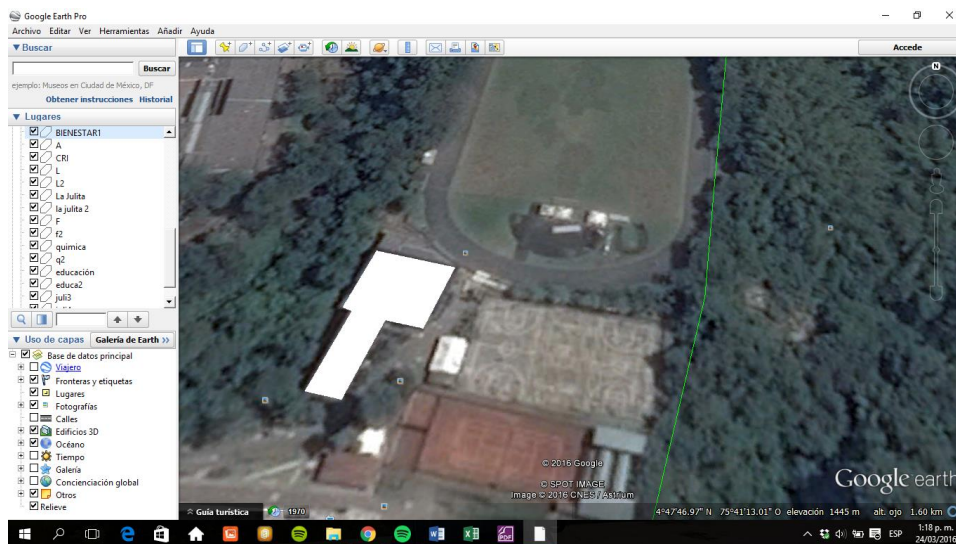


Imagen 13. Superficie de capitación en m², edificio de Bienestar Universitario, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro

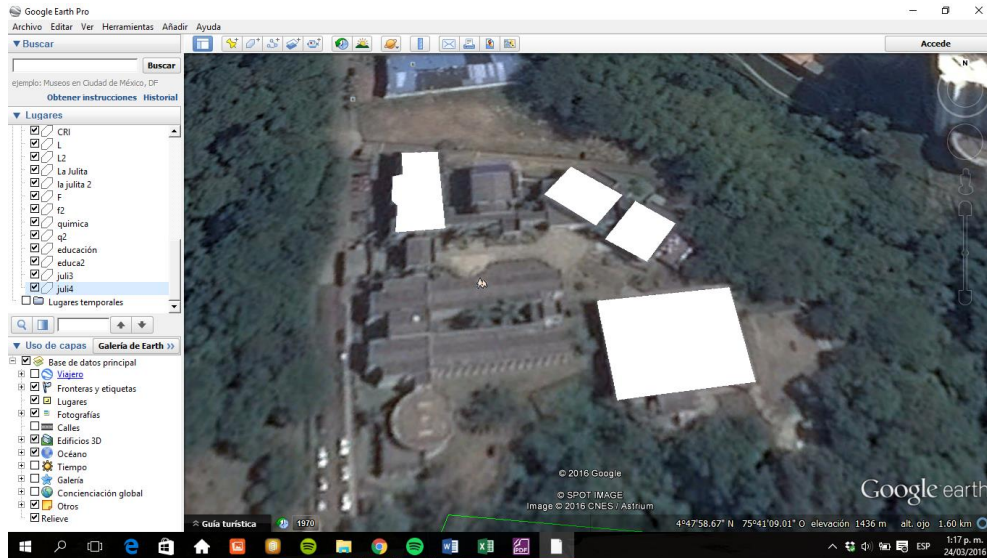


Imagen 14. Superficie de capitación en m², edificio la Julita, Campus Universidad Tecnológica de Pereira. Imagen satelital de Google Earth Pro

10.2 Ejemplo de Modelación en software Precipita GAT edificio 13 bloque Y Universidad Tecnológica de Pereira.

Los parámetros de entrada al modelo se configuran en la ventana de ajustes del software PrecipitaGAT (ver Figura 5).

Variable	Inicio	Unidades	Parámetros del sistema
Demanda doméstica de agua		L/día	38480
Demanda de agua de lluvia (usos no potables)		L/día	34632
<i>Lavado de ropa</i>		L/día	0
<i>Frecuencia de lavado de ropa</i>		días	7
<i>Inodoros</i>		L/día	34632
<i>Otros usos</i>		L/día	0
Demanda doméstica de agua gris (usos no potables)		L/día	0
<i>Uso inodoros</i>		L/día	0
<i>Otros usos</i>		L/día	0
Demanda de agua potable		L/día	3848
Superficie de captación		m ²	2041
Usuarios (personas/día)		personas/día	3368
Coefficiente de escorrentía (0-1)		adimensiona	0,9
Escorrentía superficial inicial (mm)		mm	1
Coefficiente de filtración (0-1)		adimensiona	0,9

Figura 5. Ajustes básicos para el modelado del sistema edificio 13 bloque Y. Precipita GAT elaboración propia en base en software desarrollado por Morales-Pinzón, T; Flórez, M T; Orozco, I E. (2016).

Se procede utilizando el botón de acceso a la serie de precipitación diaria simulada que servirá de referencia para modelar el comportamiento de las diferentes capacidades de almacenamiento (ver Figura 6)

Inicio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	2,5	0,0	0,0	0,0	5,8	7,2	0,0	11,8	0,0	31,1	20,2	0,0	9,9	0,0	22,6	5,2	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	16,2	0,0	5,6
2	0,0	0,5	4,5	4,2	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0	15,8	9,0	0,0	4,1	9,9	0,0	0,0	4,7	0,0	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	3,2	9,5	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	1,0	5,2	1,2	0,0	21,0	7,6	0,0	0,7	19,2	0,0	31,5	0,0	0,2	2,9
4	4,7	0,6	2,2	28,7	0,0	3,2	5,2	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	13,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	29,2	0,0	4,6	0,0	0,0
5	0,0	10,8	26,2	0,0	27,0	0,0	6,7	0,0	0,7	6,3	0,5	0,4	0,0	0,0	1,3	3,1	6,3	0,0	10,5	0,7	0,0	0,0	0,0	6,7
6	0,0	13,8	1,4	0,0	14,8	36,4	0,0	9,0	0,0	5,4	0,0	0,0	0,9	15,4	0,0	0,0	20,2	36,1	0,9	1,6	0,0	0,3	0,0	8,2
7	1,0	0,0	5,9	12,2	3,0	1,0	3,1	4,0	3,4	3,5	0,0	5,8	0,0	6,3	0,0	11,0	0,0	2,4	6,7	0,0	0,0	0,2	0,0	11,0
8	3,5	45,1	6,8	0,0	36,9	0,0	3,9	0,2	21,8	0,0	0,0	6,1	0,0	22,6	0,0	10,7	6,6	2,4	0,0	8,5	2,0	18,5	0,0	0,2
9	2,0	0,0	5,8	0,0	9,1	0,0	0,0	0,0	5,9	7,6	20,8	18,5	0,0	0,0	64,1	0,0	1,5	0,0	13,5	8,3	0,0	0,0	2,1	0,0
10	0,0	9,8	0,0	2,5	6,2	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	17,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	15,4	0,0	0,6	3,2	0,0	0,0	23,6	1,1
11	0,0	1,3	0,0	2,2	17,3	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	11,5	0,0	0,0	0,4	2,7	2,8	0,0	4,6	0,0	7,3	0,0
12	0,0	0,5	0,0	10,7	2,3	0,0	0,0	0,0	18,1	0,0	25,0	12,6	0,0	6,1	0,0	13,0	0,0	0,3	0,0	17,5	0,0	0,0	6,5	0,0
13	14,1	5,6	2,7	0,0	0,0	0,0	1,0	5,4	0,8	3,4	0,0	1,8	0,1	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	5,4	0,0	13,9
14	1,0	15,8	0,0	0,0	11,4	18,2	0,0	0,0	0,0	26,4	0,0	8,8	1,1	0,0	0,0	23,8	0,1	18,0	5,4	0,4	4,6	0,0	13,4	0,0
15	0,0	0,0	11,5	5,1	0,2	2,2	14,3	0,0	0,6	0,0	0,9	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	3,4	0,0	1,9	0,0	0,0	24,3	0,0	0,0
16	0,0	30,7	0,0	0,0	2,1	0,0	52,9	0,0	0,0	0,0	7,6	0,0	8,5	4,8	0,0	7,0	0,0	2,0	0,0	4,2	0,0	0,0	9,8	0,0
17	0,0	0,0	0,0	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	11,1	22,8	3,8	0,0	0,0	17,4	0,0	16,5	0,0	1,2	0,0	10,2	0,0	0,0
18	9,7	1,0	0,0	0,0	1,0	4,8	2,1	0,6	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	3,0	0,0	3,2	2,5	0,0
19	22,3	7,0	2,6	3,9	0,0	0,0	23,6	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	1,0	2,7	0,0	4,0	112,5	0,0	0,0	0,9	1,9	3,1	0,0	4,5
20	0,5	0,0	0,0	0,0	1,1	1,9	0,0	1,2	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	0,0	0,0	0,0	42,1	5,8	0,0	1,5	0,0	60,9	0,0
21	0,0	0,0	6,0	24,2	13,5	0,4	12,1	11,2	6,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	14,5	0,0	4,1	23,2	0,0	0,0	27,2	6,0	6,9	0,0
22	1,7	0,0	0,0	10,9	18,7	0,0	3,6	0,0	11,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	14,1	0,0	0,0	7,8	0,0	0,0	0,0	0,6	4,7	2,6	13,1	0,0	14,1	0,0	0,0	41,0	0,0	0,3
24	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	13,6	0,0	11,1	0,0	0,0	0,8	1,7	4,8	3,9	4,6	6,9	3,4	0,1	17,3	0,0	0,0	1,2	0,0

Figura 6. Datos de precipitación diaria utilizados en la simulación de los depósitos del edificio 13, bloque y, Universidad tecnológica de Pereira.

Al tener los datos de precipitación se simula y se enlaza con los ajustes de la simulación de las capacidades de almacenamiento; de esa manera, se pueden definir los siguientes atributos de la simulación (ver Figura 7):

- Vo(L): Es el valor del volumen en litros del depósito del sistema de aprovechamiento de agua de lluvia o de aguas grises a partir del cual se desea realizar la simulación.
- ΔVo(L): Es el incremento deseado entre una capacidad de almacenamiento y la siguiente.

- Número de ejecuciones del modelo: Define el número de series de precipitación obtenidas de la base de datos de referencia (ver Figura 7) que intervendrán en la simulación de cada capacidad de almacenamiento modelada.

Una vez definida la configuración deseada, se activa el botón simular escenarios para realizar la simulación.

Despósito de agua de lluvia		Despósito de aguas grises		Número de ejecuciones del modelo
V _o (L)	ΔV _o (L)	V _o (L)	ΔV _o (L)	
0	2000	0	0	20

Inicio

SIMULAR ESCENARIOS

Figura 7. Configuración de la simulación de comportamiento en capacidades de almacenamiento de agua no convencional del edificio 13, bloque y, Universidad tecnológica de Pereira.

Continuamos con Los resultados de la simulación, se muestran en diferentes gráficos y en una tabla de salida que los contiene (ver Figura 8)

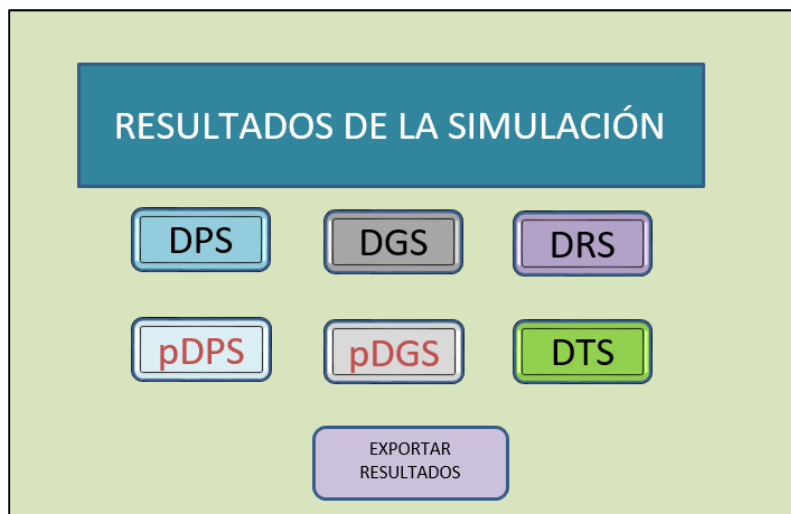


Figura 8. Resultados de la Simulación

La figura 9 muestra los resultados de la demanda satisfecha de agua de lluvia a partir de los valores promedio, máximo, mínimo obtenidos del edificio 13, bloque y de la Universidad tecnológica de Pereira.

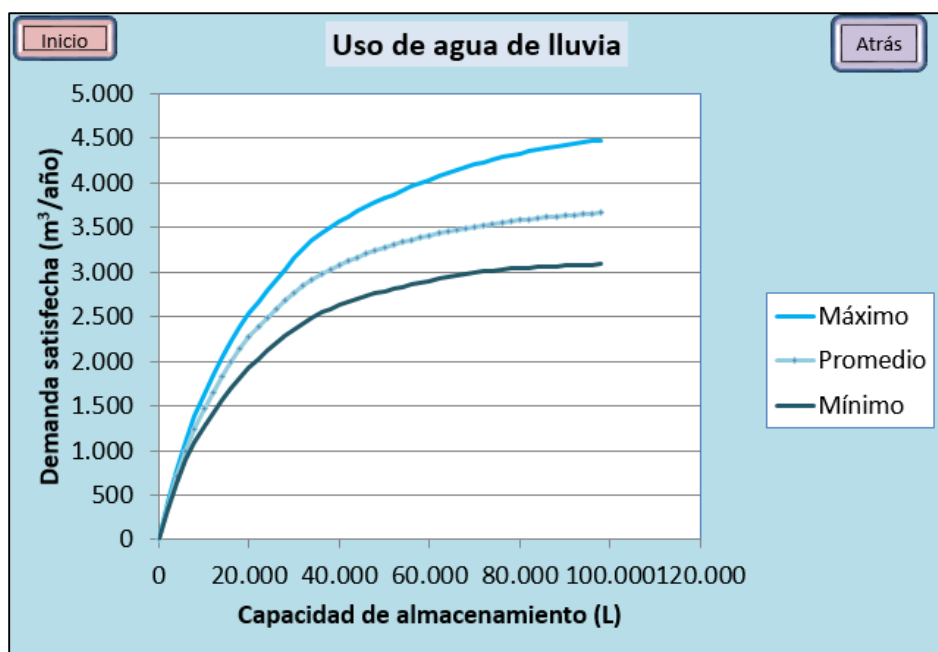


Figura 9. Comportamiento de la demanda anual satisfecha de agua de lluvia según su capacidad de almacenamiento en el edificio 13, bloque y Universidad Tecnológica.

La figura 9 muestra el promedio de capacidad de almacenamiento (Litros), con respecto a la demanda satisfecha (metros cúbicos por año); donde se observa el comportamiento de la demanda satisfecha, contribuyendo en un criterio estable del 5% que corresponde a un deposito pluvial de 20000 (L); el cual se obtuvo de los resultados de simulación en formato de tabla (ver Figura 10), entregados por el software Precipita GAT aplicado al edificio 13, bloque y, al modelar las variables citadas anteriormente.

Depósito pluviales (L)	Depósito grises (L)	Uso de agua de lluvia (m3/año)	Uso de agua gris (m3/año)	Uso de agua de red (m3/año)
20000	0	2279,30584	0	11765,8942

Figura 10. Resultados de la simulación en formato de tabla

Continuamos con la figura 11 que muestra los resultados de la demanda satisfecha de agua de red a partir de los valores promedio, máximo, mínimo obtenidos (ver Figura10).

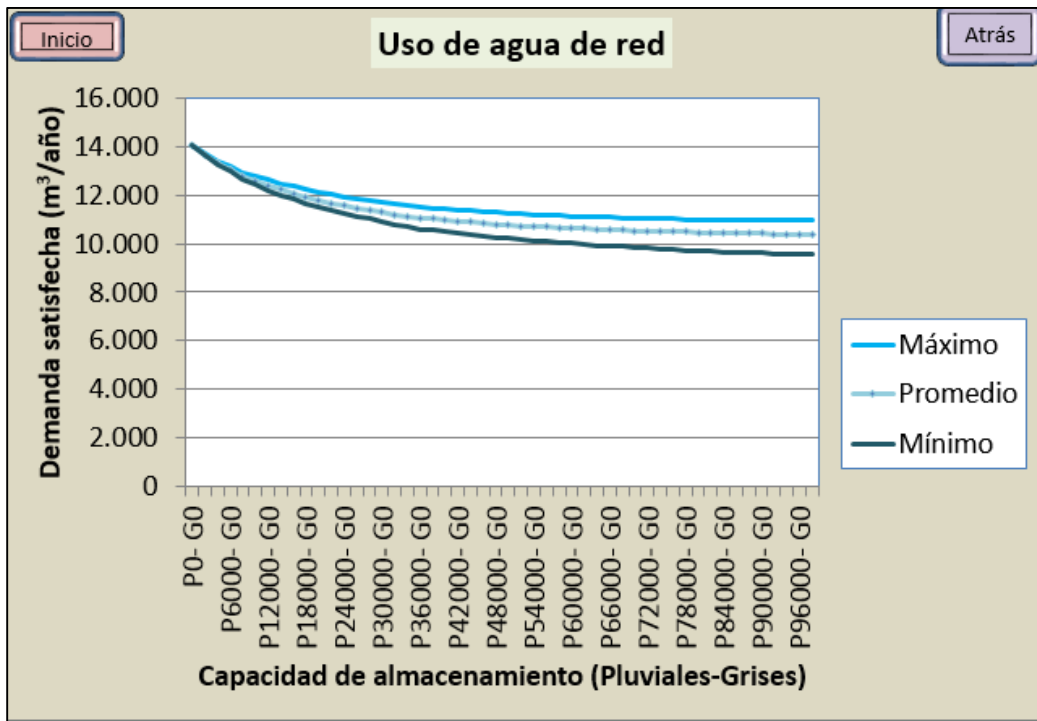


Figura 11. Comportamiento uso de agua de red según configuración de capacidades de almacenamiento de agua de lluvia y de agua gris combinadas del edificio 13, bloque y, Universidad tecnológica de Pereira.

El consumo de agua de la red se ve directamente afectado con el aumento de la capacidad de almacenamientos pluviales (ver Figura 11)

La figura 11 muestra los resultados del uso de agua en el sistema según calidad requerida por cada una de las demandas configuradas en la sección Ajustes.

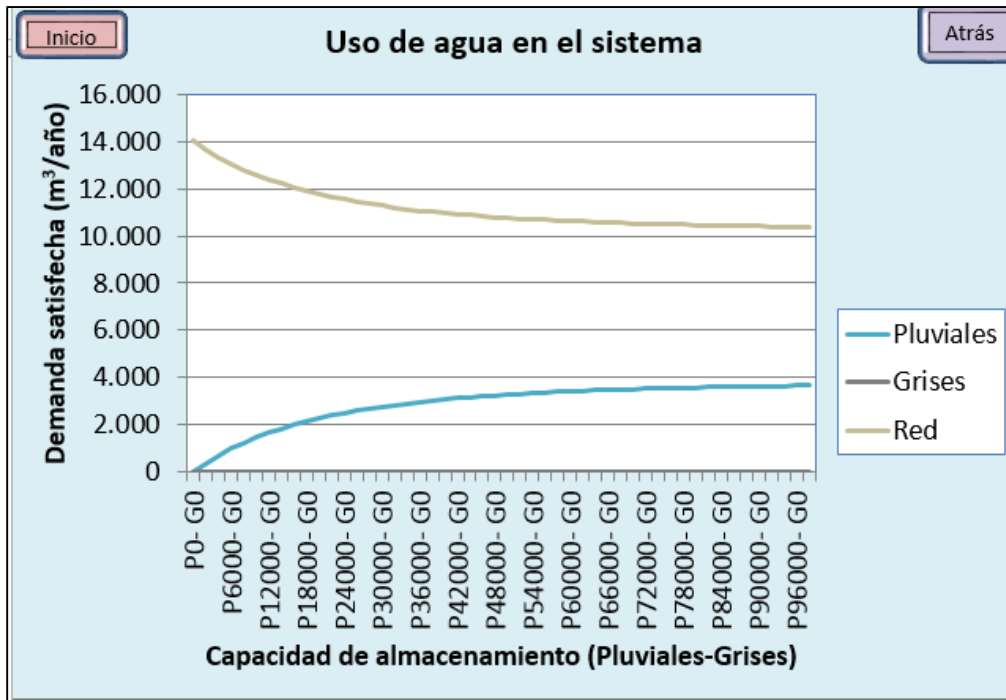


Figura 12. Comportamiento del uso de agua de red según configuración de capacidades de almacenamiento de agua de lluvia y de agua gris combinadas del edificio 13, bloque y, Universidad tecnológica de Pereira.

La figura 12 muestra el uso de agua de la red y aguas pluviales en el edificio 12; donde se observa la disminución del consumo de agua de la red por utilizar las aguas pluviales el cual muestra el detrimento con el aumento de la capacidad de almacenamiento.

Otro indicador de interés son los porcentajes de demanda satisfecha de agua de lluvia en función de las diferentes capacidades de almacenamiento del sistema (ver Figura 13)

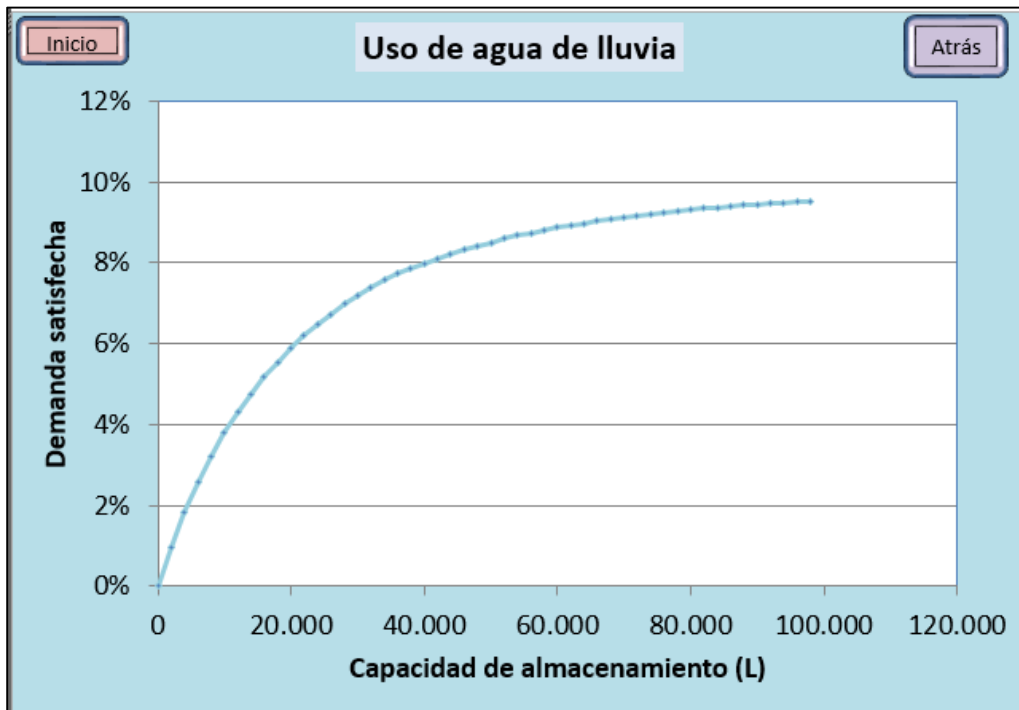


Figura 13. Porcentaje de demanda de agua de lluvia satisfecha según capacidad de almacenamiento del edificio 13, bloque y, Universidad tecnológica de Pereira.

La figura 13 muestra la demanda satisfecha de uso de agua lluvia, de acuerdo, a su capacidad de almacenamiento en el edificio 13; en donde, la figura 10 establece el criterio del 5% que corresponde a un deposito pluvial de 20000 (L); el cual se obtuvo de los resultados de simulación en formato de tabla (ver Figura 10), entregados por el software Precipita GAT aplicado al edificio 13, bloque Y, al modelar las variables citadas anteriormente.

10.2.1 Resultado de impacto ambiental en modelación en software Precipita GAT edificio 13 bloque Y Universidad Tecnológica de Pereira.

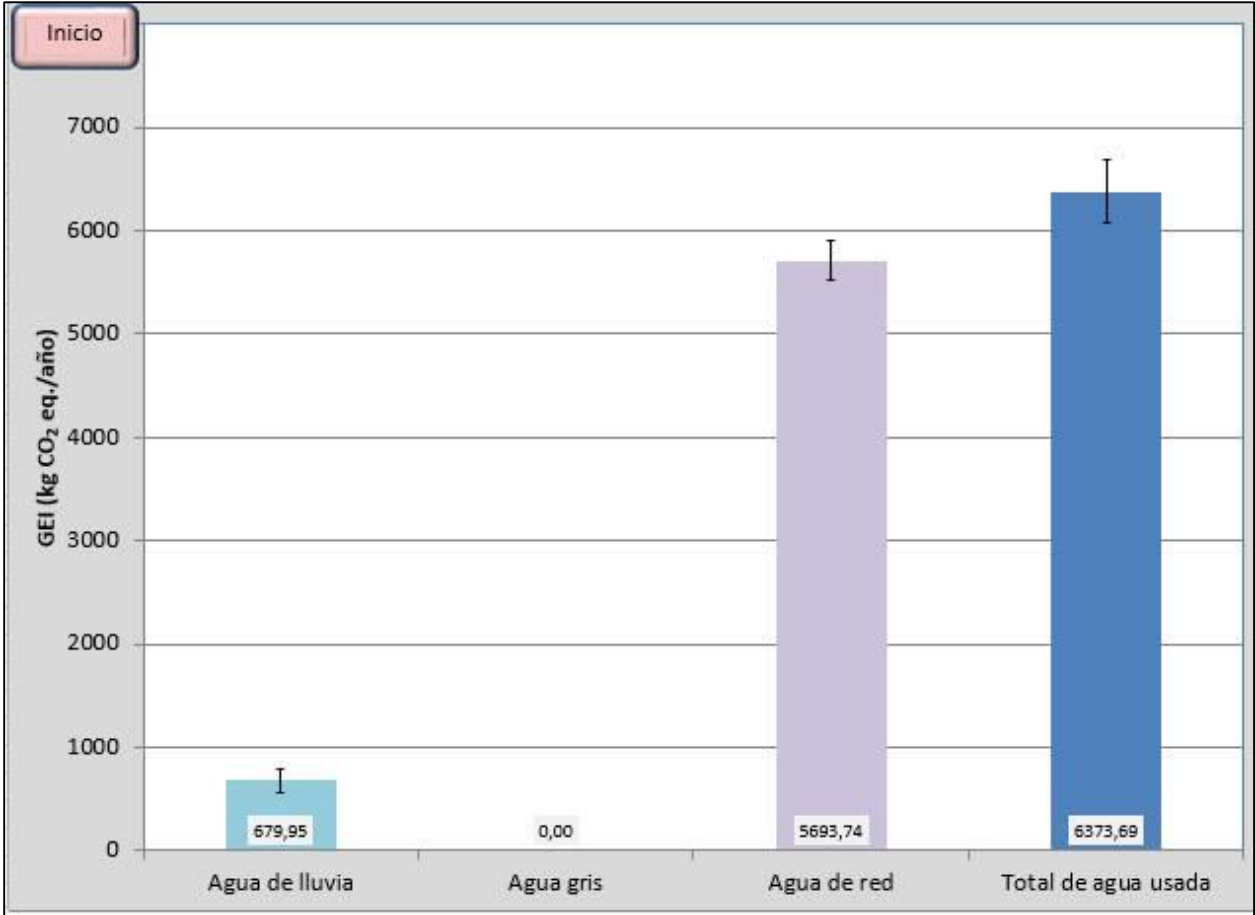


Figura 14 Potencial de emisiones de gases de efecto invernadero, edificio 13, bloque Y, Universidad Tecnológica de Pereira.