

Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua pluvial en estadios de fútbol

*Oscar Zaraza*¹, *Carlos Ramos*²

zarazaoscar@gmail.com¹, carlosramos978@gmail.com²

Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Católica Andrés Bello, Guayana, Venezuela¹²

Resumen

El aumento de la población en las zonas urbanas genera una demanda mayor de agua potable con respecto a la oferta disponible del preciado líquido. Hoy en día es necesario implementar medidas en las edificaciones para la gestión sostenible del recurso agua. Una de estas acciones es el aprovechamiento desde otra fuente de suministro alternativa, como la pluvial. En este caso, los estadios de fútbol son infraestructuras que amerita la aplicación de este tipo de prácticas ya que cuentan con un engramado natural que debe ser regado para satisfacer sus necesidades hídricas. Dado lo anterior, surge esta investigación de tipo aplicada y de diseño documental para el aprovechamiento de agua pluvial en estadios de fútbol, para ello se estableció un sistema de indicadores de manejo eficiente del agua en la edificación, el cual fue jerarquizado a través de la opinión de expertos que fueron consultados sobre el tema y así llevar a cabo el desarrollo de la propuesta. Los resultados obtenidos sustentaron que se deben considerar los indicadores: consumo de recursos hídricos totales, la precipitación sobre el estadio y la implementación de medidas estructurales en el desarrollo de la propuesta, por tal motivo, se diseñó un sistema que recolecta y transporta el agua de lluvia hacia dos estanques de almacenamiento para suplir la demanda de agua no potable dentro de la edificación, contribuyendo así con el uso racional del recurso hídrico.

Palabras clave: Sostenibilidad, Agua pluvial, Aprovechamiento, Estadios de Fútbol, Indicadores.

Proposal for a rainwater harvesting system in soccer stadiums

Abstract

The increase in the population in urban areas generates a greater demand of drinking water compared to the available supply of the valued liquid. Today it is necessary to implement measures in buildings for the sustainable management of water resources. One of these actions is the harvesting from another alternative supply source, such as rainwater. In this case, soccer stadiums are infrastructures that deserve the application of this type of practice since they have a natural grass that must be watered to satisfy their water needs. Given the above, this applied research with documentary design arises for the rainwater harvesting in soccer stadiums. Firstly, a system of indicators for efficient water management in the building was established, which was ranked through the opinion of experts who were consulted on the subject and thus develop the proposal. The results obtained supported that the indicators should be considered are: consumption of total water resources, precipitation on the stadium and the implementation of structural measures in the development of the proposal. For this reason, a system that collects and transports rainwater to two storage tanks to supply the demand for non-potable water in the building was designed, contributing to the rational use of potable water.

Keywords: Sustainability, Rainwater, Harvesting, Soccer Stadiums, Indicators.

I. INTRODUCCIÓN

La migración de la población rural hacia las principales urbes de los países sigue aumentando de forma significativa en los últimos años y no se observa cambio en esta tendencia [1], lo que significa que la demanda de agua en el medio urbano se incrementa de manera continua, por tal motivo, se deben generar propuestas que hagan eficiente el uso de este recurso en todos los sectores incluyendo las instalaciones deportivas, entre ellas los estadios de fútbol.

La Agenda 2030 para el desarrollo sostenible [2], ofrece herramientas de planificación fundamentadas en los pilares de la sostenibilidad, por lo cual con esta investigación se busca generar estrategias que permitan hacer uso eficiente del agua en los estadios de fútbol. Aportando así a la meta 6.4 que expresa la necesidad de hacer uso eficiente del agua en todos los sectores y asegurando la sostenibilidad en todos los procesos, consiguiendo con ello disminuir el número de personas que se ven afectadas por la falta de agua.

El enfoque de esta investigación radica en generar una propuesta que reutilice el agua pluvial con el propósito de ahorrar el preciado recurso y utilizar el agua captada para usos no potables dentro de la infraestructura deportiva.

Para desarrollar la propuesta, en el presente artículo se expone brevemente: el planteamiento del problema, los objetivos, el marco teórico que sustenta el estudio, el marco metodológico, el procedimiento seguido en el desarrollo de la investigación, los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones.

II. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS DEL PROBLEMA

El agua es un recurso que no solo es importante para preservar la vida, sino que además es esencial para su desarrollo y evolución. Es evidente que este recurso es fundamental para realizar casi todas las actividades cotidianas, por lo tanto, juega un papel decisivo para el bienestar de una sociedad.

Más del 50% de la población mundial reside en zonas urbanas y se espera que para el año 2050 lo hagan dos terceras partes de la población mundial [3]. Esta presión ejercida sobre los recursos hídricos trae como consecuencia que los pobladores tengan que recurrir a otras fuentes no seguras de agua potable para satisfacer sus necesidades, opciones que no siempre son recomendables debido a que al no conocerse la procedencia no se garantiza su calidad.

Los estadios de fútbol son infraestructuras que se abastecen de agua potable proveniente de la red

pública, por lo cual debido a sus grandes dimensiones generan consumos excesivos, principalmente para satisfacer las necesidades hídricas del engramado natural y abastecer a los cuartos de baño presentes en estas instalaciones, contribuyendo así con la escasez del preciado recurso en el medio urbano.

Si en estas instalaciones deportivas no se implementan medidas para el manejo eficiente del agua, estos consumos excesivos se traducirían en problemas de disponibilidad de dicho recurso, lo que traería como consecuencia zonas sin acceso al agua potable, migraciones masivas, enfermedades, entre otros.

Proponer un sistema que sea capaz de captar y almacenar el agua pluvial, para luego reutilizarla, es una opción de uso eficiente de este recurso natural, para no recurrir al agua potable en actividades donde su uso no sea requerido. Esto debido a que el agua de lluvia aunque no haya sido previamente tratada, con excepción de las lluvias ácidas, tienen pocos agentes contaminantes, debido a su nula manipulación, por lo tanto, se traduce en una alternativa eficiente para ahorrar agua potable. Por ello, para el desarrollo de esta propuesta, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo sería un sistema que aproveche eficientemente el agua pluvial en los estadios de fútbol?

Para dar respuesta a la interrogante anteriormente presentada, el objetivo general de esta investigación consiste en proponer un sistema para el aprovechamiento del agua pluvial en estadios de fútbol, asimismo, para poder alcanzar este propósito se plantean los siguientes objetivos específicos: (1) definir el ámbito de aplicación de la propuesta para ser implementada en estadios de fútbol; (2) proponer un sistema de indicadores para el manejo eficiente del agua en estadios de fútbol; (3) establecer los criterios técnicos y ambientales para el aprovechamiento del agua pluvial en estadios de fútbol; y (4) desarrollar a nivel conceptual un sistema para la captación, conducción, almacenamiento y recirculación del agua pluvial en estadios de fútbol.

III. MARCO REFERENCIAL

En este apartado se presentan para entendimiento del lector, los antecedentes y bases teóricas con que se fundamenta esta investigación. Se explican los sistemas de aprovechamiento pluvial, sus componentes, el concepto de indicadores sostenibles junto con un modelo para su clasificación y el proceso utilizado para su jerarquización.

En las instalaciones deportivas, existen varias zonas en donde se puede optimizar el recurso hídrico con el fin de ejecutar acciones que beneficien su gestión, sin embargo, se desconoce cuáles estructuras de drenaje sostenibles son más eficientes recolectando de agua pluvial en los estadios de fútbol para su posterior reutilización. Para poder conocer las estructuras sostenibles más eficientes, se tomó como referencia la investigación realizada por Díaz y Habib [4]. En dicho trabajo se propuso un sistema de indicadores para la gestión sostenible del agua en edificaciones residenciales unifamiliares y luego se seleccionaron los más relevantes según el Modelo: Presión, Estado y Respuesta (PER) [5], el cual se detalla más adelante. Para la presente investigación se estudiaron los indicadores propuestos por Díaz y Habib y se seleccionaron los que se alineaban con el manejo del agua en los estadios de fútbol siguiendo el mismo modelo.

Desde hace algunos años la FIFA ha desarrollado una iniciativa de sostenibilidad medioambiental llamada Green Goal [6], cuyo fin es el de proporcionar un ambiente neutro en cuanto a la emisión de gases efecto invernadero se refiere, dichas políticas tienen entre sus acciones la reducción del consumo de agua potable, mediante la búsqueda de estrategias que sirvan para la disminución del uso del recurso en tareas de irrigación; Green Goal sugiere además la retención y el almacenamiento del agua de lluvia para apoyar el ciclo hidrológico.

Los sistemas de aprovechamiento consisten en almacenar el mayor volumen posible de agua pluvial precipitada en una determinada zona para su posterior uso, con el objetivo de abastecer a una o varias edificaciones. Un sistema básico de aprovechamiento está compuesto por los siguientes elementos: captación, recolección, interceptor de primeras aguas, almacenamiento y recirculación [7].

Los indicadores son parámetros o los valores derivados de parámetros, que otorgan información relevante para describir las condiciones de un fenómeno, ambiente o área, que tiene un significado más profundo que el que se relaciona con el valor del parámetro mismo [8]. En la actualidad muchos países están utilizando sistemas de indicadores para el desarrollo sostenible, la mayoría de ellos se fundamentan en el Modelo PER [9]. Este modelo se basa en el concepto de causalidad, es decir, que el mismo se basa en el principio de que cualquier actividad humana ejerce "Presión" al medio ambiente, transformando la condición y calidad de los recursos

naturales (Estado), y como resultado la sociedad responde con políticas ambientales y económicas, para reducir o prevenir el impacto (Respuesta) [5].

Pero todo ese proceso no puede ejecutarse por sí solo, esto debido a que necesario construir un modelo jerárquico que permita de una manera eficaz y gráfica ordenar toda información acerca del problema en estudio y con ello tomar decisiones para la construcción del sistema, por lo cual en esta investigación se utilizó el proceso de análisis jerárquico propuesto por Thomas Saaty [10]. El cual comprende las siguientes etapas: modelización, valoración, priorización, síntesis y consistencia lógica.

IV. MARCO METODOLÓGICO

Debido a las características que presenta esta propuesta, podemos definir la investigación como de tipo aplicada, esto debido a que se busca aplicar conocimientos científicos en cuestiones de naturaleza estratégica; aportar diagnósticos y propuestas de intervención; generar propuestas que contribuyan a innovar en el diseño y gestión de políticas o perfeccionar las ya existentes o producir innovaciones en la tecnología, aplicaciones productivas específicas o resolver problemas específicos [11]. Asimismo, la investigación se desarrolla mediante un diseño documental, es decir, que la misma consiste en un análisis de la información escrita sobre el tema, con el propósito de establecer relaciones, diferencias, etapas, posturas o estado actual del conocimiento respecto del tema objeto de estudio [12]. La unidad de análisis empleada en esta investigación son los Sistemas de aprovechamiento eficiente del agua pluvial en estadios de fútbol. El procedimiento seguido para el desarrollo de esta investigación se muestra a continuación:

Primeramente se describe el ámbito de aplicación de la propuesta en el contexto geográfico y ambiental; para ello se realizan consultas en fuentes bibliográficas con el fin de determinar las zonas en donde es posible aplicar la propuesta, posteriormente se analizan los documentos seleccionados y se escogen cuáles son los más congruentes con la investigación.

Luego se desarrolla la propuesta de un sistema de indicadores sostenibles del recurso hídrico en los estadios de fútbol, dicho sistema está fundamentado en el modelo Presión-Estado-Respuesta. Para ello primeramente se consultan fuentes bibliográficas y manuales que sirvan de guía para el desarrollo metodológico del sistema, asimismo, se examinan

manuales de indicadores para la gestión del recurso, propuestos por diversos países de la región con el objetivo de generar las hojas metodológicas, que servirán como fuente de información constante para evaluar el desempeño de cada uno de los componentes del sistema de aprovechamiento en la edificación deportiva.

Posteriormente, se aplica el instrumento cuestionario a panel de expertos, para determinar jerárquicamente a través de la matriz de Saaty, cuáles de los indicadores propuestos de cada tipo (Presión, Estado y Respuesta) son los que generan mayor impacto sobre el manejo del agua, esto con el fin de realizar un diagnóstico integral de la gestión del recurso en estas instalaciones, para luego definir las líneas de actuación estratégica que ayudarán a disminuir el consumo de agua potable en este tipo de edificación deportiva, todo este proceso se puede observar en la Figura 1.

	PROCESO METODOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	INSTRUMENTO
PREPARACIÓN	1. Revisión Bibliográfica para el desarrollo del enfoque metodológico de los indicadores	Se indaga sobre los diferentes métodos para el desarrollo de indicadores ambientales	Manuales metodológicos.
	2. Revisión de marcos conceptuales, antecedentes de investigación para el desarrollo de los indicadores ambientales	Se busca información y trabajos previos donde se evalúa la importancia para emplearlo en esta investigación.	Investigaciones previas, Manuales de indicadores de gestión del recurso en otros países.
ELABORACIÓN DEL SISTEMA DE INDICADORES	3. Elaboración del listado de indicadores.	Se propone la lista de los indicadores.	Revisión bibliográfica de sistemas relacionados
	4. Revisión de disponibilidad de información para construir indicadores.	Se busca informes o páginas webs que proporcionen información acerca de los indicadores estudiados.	Buscadores webs e informes de gestión de los indicadores.
	5. Desarrollo de hoja metodológica para cada indicador.	Se realiza una hoja informativa de cada indicador donde se muestre características del mismo.	Hoja metodológica para cada indicador
	6. Prueba piloto del instrumento.	Se aplica una prueba piloto a un experto con amplio conocimiento en temas ambientales.	Cuestionario a panel de Expertos.
	7. Valoración de los elementos.	Se estudia la importancia de los indicadores mediante un cuestionario.	Cuestionario a panel de Expertos.
ACCIÓN	8. Jerarquización de los elementos.	De acuerdo a los resultados obtenidos del cuestionario, se ordenarán los indicadores de acuerdo a su relevancia.	Revisión bibliográfica y análisis de contenido.
	9. Estudio y Análisis de las opciones disponibles para aplicación de las medidas que contribuyan al manejo eficiente del recurso agua (Objetivo 3).	Basándose en los resultados obtenidos se desarrollarán los diferentes criterios técnicos y ambientales para la gestión del recurso en el estadio.	N/A

Figura 1: Flujoograma para el desarrollo del sistema de indicadores y su jerarquización.

Fuente: Adaptado de [13]

Seguidamente se toma la información de los indicadores jerarquizados en la fase anterior y se adoptan las medidas estructurales que conformarán el sistema, luego, se establecen los criterios técnicos y ambientales para diseñar de forma eficiente cada uno

de los elementos que componen el sistema de aprovechamiento pluvial.

Por último se explica el sistema de aprovechamiento propuesto y se realiza un ejemplo de aplicación, en el cual se consideran los criterios técnicos establecidos en la fase anterior para cada uno de los elementos que conforman el sistema, es decir, para los componentes que captan, conducen, almacenan y recirculan el agua pluvial en la edificación deportiva.

V. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos y el análisis de los mismos.

En el ámbito de aplicación de la propuesta se presentan las variables climáticas y ambientales para las cuales está destinado el sistema de aprovechamiento. En este contexto, se seleccionó la zona de vida bosque seco tropical (bs-T) y las inferiores a esta (Figura 2), de la clasificación climática de Holdridge ya que en estas regiones se observa un déficit en las precipitaciones durante largos periodos al año, y es que con esta propuesta se busca disminuir el uso de agua potable en lugares donde el recurso es prioritario para el consumo humano.

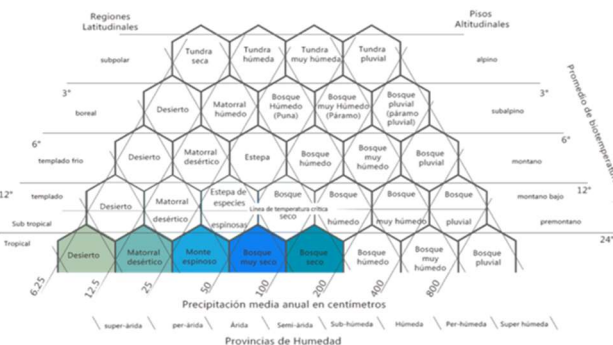


Figura 2: Triángulo de las zonas de vida de Holdridge.

Fuente: Elaboración propia.

La importancia de esta zona de vida radica principalmente en dos aspectos, la lluvia precipitada (1000-2000 mm anuales) y los largos periodos secos que se generan en dicha región. En esta investigación se seleccionó la zona bosque seco tropical presente en Ciudad Guayana, específicamente las subcuencas que tributan sus aguas al embalse Macagua, esto debido a que se tenía acceso a los datos pluviométricos de la estación pluviométrica Macagua.

Posteriormente se desarrolló el sistema de indicadores los cuales se pueden ver agrupados de acuerdo al modelo Presión, Estado y Respuesta en la Tabla I.

Tabla I: Sistema de indicadores propuesto.

PRESIÓN	ESTADO	RESPUESTA
IP-1. Consumo de recursos hídricos totales	IE-1. Índice de calidad de dotación diaria de agua en el estadio	IR-1. Captación de aguas pluviales para su uso en riego del terreno y en salas sanitarias
IP-2. Consumo de agua para riego del terreno de juego	IE-2. Índice de calidad del agua proveniente del estadio	IR-2. Depósitos de lluvia
IP-3. Consumo de agua destinado a la limpieza del estadio	IE-3. Precipitación sobre el área del estadio	IR-3. Puntos de agua con tecnología sostenible
IP-4. Consumo de agua en salas sanitarias	IE-4. Escurrimiento de agua de lluvia	IR-4. Instalación de contadores de agua
IP-5. Descarga de aguas servidas del estadio		IR-5. Implementación de gramíneas autóctonas para el terreno de juego
		IR-6. Implementación de medidas estructurales en la edificación

Fuente: Elaboración propia.

Luego de elaborado el listado de indicadores se procedió a realizar la hoja metodológica para cada uno de ellos, donde se refleja: (1) la identificación del indicador, (2) la descripción del indicador, (3) las diversas fuentes de información para su monitoreo, (4) la forma de cálculo, (5) la unidad de medida, (6) las variables del indicador, (7) la periodicidad de los datos y (8) los Objetivos de Desarrollo Sostenible involucrados.

En la etapa de valoración de los indicadores se presentó un cuestionario a un panel multidisciplinario de expertos con experiencia en sostenibilidad, en el cual se realizó una comparación pareada entre indicadores con el objeto de reflejar la importancia relativa de un indicador con respecto a otro en el contexto de los estadios de fútbol. Posteriormente se procedió a realizar el proceso de priorización y síntesis, para ello se tomaron los resultados de la etapa anterior y se llevaron a cabo operaciones matriciales con el objetivo de calcular las matrices normalizadas y los vectores o matrices de prioridades que nos permitieron conocer el valor porcentual de los criterios planteados. Las ponderaciones obtenidas para los indicadores PER se observa en la Figura 3.

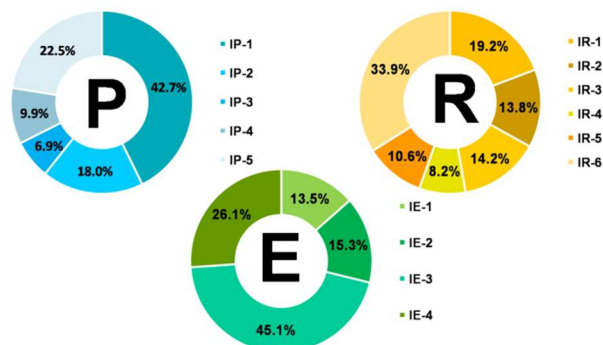


Figura 3: Ponderaciones de los Indicadores de Presión, Estado y Respuesta respectivamente.

Fuente: Elaboración propia

Para asegurar que la elección de los indicadores sea objetiva, las decisiones del panel de expertos deben ser lo más consistente posible, sin embargo, en la realidad no suele suceder así, por lo cual debe existir cierto grado de inconsistencia para que pueda ser aceptable el proceso de decisión.

Para conocer la objetividad de las decisiones de los expertos se calculó la razón de consistencia (RC) para cada grupo de indicadores PER (Tabla II) dando como resultado valores por debajo de los límites de consistencia de Saaty, los cuales indican que para matrices cuadradas de orden $n=4$ se tiene un límite de 9% y para matrices cuadradas de orden $n \geq 5$ se tiene un límite de 10% [14].

Tabla II: Razón de consistencia para los indicadores P-E-R.

Indicadores	Presión	Estado	Respuesta
Matriz (nxn)	5	4	6
λ_{\max}	5.406	4.142	6.267
IC	0.102	0.047	0.053
ICA	1.115	0.882	1.252
RC	0.091	0.053	0.042

Fuente: Elaboración propia.

Por lo cual, las respuestas obtenidas de los expertos son consistentes y son aceptables en el proceso, las mismas se tomaron en consideración para la determinación de los criterios ambientales y técnicos que se describen a continuación.

Para el establecimiento de los criterios ambientales, se tomaron en consideración los indicadores de Presión y Estado que resultaron con mayor relevancia de acuerdo a la opinión de los expertos: El indicador de Presión que tuvo mayor relevancia fue: Consumo de

recursos hídricos totales (42,7%) el cual está referido a la cantidad del agua consumida en el estadio, asimismo, los indicadores de Estado que tuvieron mayor relevancia fueron Precipitación en el área de estudio (45,1%) y Esguerrimiento de agua pluvial (26,1%), los mismos están referidos a la cantidad de agua que precipita y esgurre en el recinto deportivo.

El criterio ambiental que involucra los aspectos antes mencionados es la Cantidad de agua, es decir, la consumida y precipitada en el emplazamiento deportivo, debido a esto fue seleccionado como criterio ambiental principal, asimismo, se consideró relevante incluir el criterio ambiental Calidad del agua, esto debido a que el agua pluvial debe tener ciertas características físicas para que pueda ser utilizada en algunos de los sistemas que componen el estadio, por ejemplo el sistema de riego.

En relación con los indicadores de respuesta se observó que el indicador que tuvo mayor relevancia fue: Implementación de medidas estructurales en la edificación (33,9%), debido a esto, se examinaron diferentes medidas estructurales que aportaran directamente a los criterios ambientales antes descritos y a las condiciones naturales que se definieron para esta propuesta. En la Tabla III se detallan los componentes seleccionados y sus respectivos criterios técnicos.

Tabla III: Criterios técnicos en componentes estructurales.

Tipo	Comp.	Criterios Técnicos
Control de Escurrencias en el Origen	Pavimentos Permeables	-Área drenante < 4 hectáreas. -Área impermeable < a 2/3 del total del área de pavimento. -Capacidad de percolación del pavimento debe ser significativamente mayor que la máxima intensidad de lluvia.
Almacenamiento	Depósitos de Lluvia	<u>Sistema del Estanque Principal:</u> -El estanque de primeras aguas será aéreo, destinado para uso en labores de limpieza en pisos inferiores mediante gravedad. -El estanque principal deberá contener una compuerta de inspección, tubo de ventilación, tubo de salida de excesos y una tubería para el reuso del agua pluvial.

		<u>Sistema del estanque secundario:</u> -El sistema secundario estará compuesto por unidades modulares plásticas de ensamblado fácil, también conocidas como geoceldas. -Las aguas colectadas en el campo de juego serán conducidas mediante geodrenes. -La estructura tendrá un geotextil en todo su alrededor para impedir infiltración del agua recuperada al terreno natural.
	Estanques de Retención	-Considerar una expansión gradual desde la zona de entrada del flujo y una contracción hacia la salida en la laguna, para evitar el efecto de cortocircuito del flujo. -La estructura deberá contener los siguientes elementos Entrada, Disipador, Sedimentador, Cámara de descarga, Tubería de descarga y Vertedero.
Conducción	Cunetas Verdes	-El área de drenaje no puede ser mayor a 4 hectáreas, ni tener pendiente menor al 4%. -La capa de suelo permeable que se encuentra debajo de la cuenta será de al menos 75 centímetros. -La profundidad máxima de la cuneta es de 400 - 600 mm, y es recomendable que su ancho este entre los 0,6 y 2,4 metros.

Fuente: Elaboración propia.

Los componentes seleccionados fueron agrupados según la función que ejercían en el sistema, es decir, estructuras para control de escurrencias en el origen, estructuras para el almacenamiento de agua y estructuras para la conducción del agua pluvial.

La propuesta de aprovechamiento se desarrolló considerando los criterios técnicos desarrollados anteriormente para cada uno de los elementos que conforman el sistema, es decir, para los componentes que captan, conducen, almacenan y recirculan el agua pluvial en la edificación deportiva, en la Figura 4 se presenta un esquema donde se observa de forma general las diversas estructuras que lo conforman.

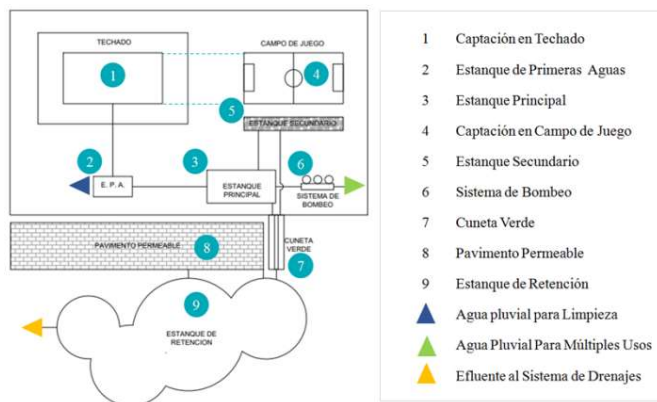


Figura 4: Esquema general de la propuesta.
Fuente: Elaboración propia.

El sistema planteado consta de dos estanques de lluvia, uno principal el cual recolecta el agua pluvial proveniente del techado y otro secundario que almacena las lluvias precipitadas en el terreno de juego.

En la figura 5 se observan los componentes presentes en el techado, primero se disponen de canales de borde de sección rectangular con un lado más alto que otro para otorgar seguridad mediante el uso de eslingas a las personas que tienen acceso al mismo (a). Asimismo, los bajantes dispuestos tienen una longitud máxima de 13 metros por tramo de caída libre, esto debido a que longitudes mayores genera importantes esfuerzos de corte y torsión lo cual amerita componentes de mayor espesor para soportar dichos esfuerzos, además, estos elementos deben poseer tramos horizontales (b) que permitan disipar la energía del flujo en la caída, dichos tramos poseen pendientes y longitudes mínimas que permiten la continuidad de las descargas. Por último, se disponen rejillas protectoras antes de ingresar a los bajantes con el objetivo de impedir el ingreso de material no deseado en el sistema (c) y (d).

Adicionalmente se disponen tanquillas que reciben el caudal de los bajantes, tienen medidas mínimas internas de 0,8 m x 0,8 m y una profundidad variable dependiendo del diámetro del bajante, además, estos elementos se conectan longitudinalmente con otras tanquillas para su adecuada descarga al estanque principal.

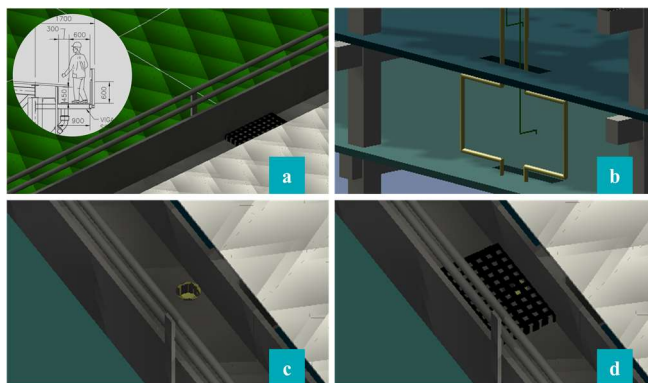


Figura 5: Estructuras en el techado del estadio. (a) Canales de borde, (b) Bajantes, (c) Entrada del bajante, (d) Reja protectora.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6 se tiene el estanque de primeras aguas, el cual se plantea colocar de forma aérea (a), esto con el objetivo de utilizar el agua pluvial por gravedad en labores de limpieza para los diferentes niveles del estadio, el mismo debe tener una tubería con válvula de purga en la parte más baja del mismo que permita la extracción de los sedimentos captados (b), de igual forma las tomas de agua con filtro se disponen a 10 cm por encima de la parte más baja del estanque de primeras aguas (c).

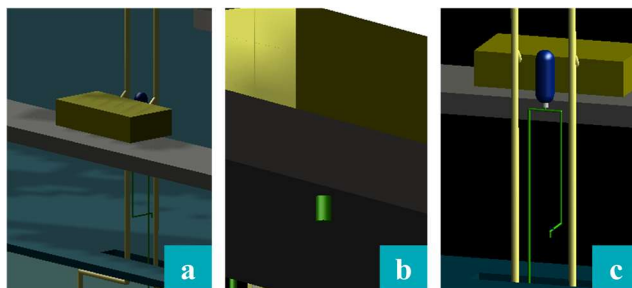


Figura 6: Estanque de primeras aguas y accesorios. (a) Estanque de primeras aguas, (b) Válvula de purga, (c) Filtro.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 7 se detallan los componentes del estanque principal (a), debe tener una tapa removible de dimensiones necesarias para llevar a cabo labores de inspección y limpieza (b), una tubería de ventilación (c), una tubería para la salida de excesos que expulsa el excedente a las cunetas verdes (d) y una tubería (e) acoplada al sistema de bombeo (f) para reutilizar el agua pluvial del reservorio.

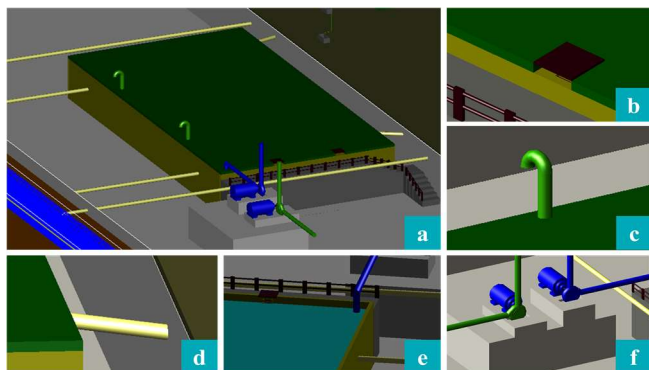


Figura 7: Estanque principal y componentes. (a) Estanque principal, (b) Tapa removible, (c) Tubería de ventilación, (d) Tubería de excedentes, (e) Tubería a bomba, (f) Bombas. **Fuente:** Elaboración propia.

Para la recolección del agua pluvial en el campo de juego (Figura 8), se disponen geodrenes en toda la superficie del terreno, los cuales conducen el agua mediante ramales principales y secundarios a trampas de sedimentos (a). Estas trampas (b) permiten disminuir los mantenimientos en el estanque secundario por acumulación de sedimentos y ayuda a disminuir la velocidad en la entrada del reservorio para prevenir que las aguas reingresen a las tuberías por efectos de resistencia de la estructura interna de las geoceldas sobre el fluido.

La estructura que se coloca en el campo de juego es un estanque secundario de almacenamiento geocelular (c), el mencionado sistema está compuesto por unidades modulares plásticas de ensamblado fácil que se disponen en el espacio excavado para tal fin (d), este componente debe poseer un geotextil alrededor del estanque que impida la infiltración del agua acumulada en el sistema geocelular al terreno natural (e).

Asimismo, este reservorio debe tener una tubería de ventilación, una tubería con válvula de paso que conecte el estanque secundario con el principal, dicho conducto debe estar por encima de la parte más baja del estanque secundario 15 cm, empotrando con la cara superior del estanque principal, por último la estructura debe tener al igual que el estanque principal una tubería que expulse las aguas excedentes hacia las cunetas verdes.

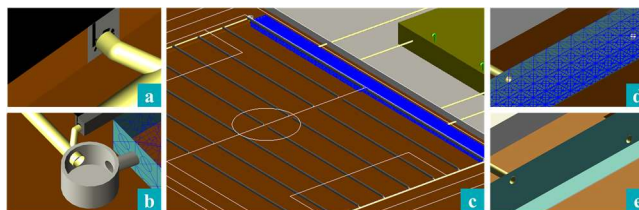


Figura 8: Estanque secundario y componentes. (a) Geodrenes, (b) Trampa de sedimentos, (c) Estanque secundario, (d) Unidades modulares, (e) Geotextil. **Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 9 se presentan las estructuras que adicionalmente se instalan a la salida del estanque principal: Se disponen dos cunetas verdes paralelas en caminerías de una de las entradas al campo de juego, estos elementos conducen tanto el agua pluvial que pudieran generarse en el estanque principal y secundario (a) como las escorrentías generadas en el pavimento no permeable adyacentes a las mismas hacia el estanque de retención (b), cabe destacar que las cunetas poseen un dissipador de energía en la salida esto con el objetivo de prevenir la erosión a la entrada del estanque de retención (c).

Adicionalmente en la figura 9 se presenta el estanque de retención (último componente del sistema). Este elemento se plantea colocar en la depresión natural del terreno para atenuar el impacto de las escorrentías transportadas por las zonas de pavimento impermeable (d). La estructura posee en la entrada una gran amplitud para permitir la recepción de escorrentías sin inconvenientes, además posee una cámara de descarga para mantener en la estructura un volumen permanente constante (e). Asimismo, se propone la implementación de vertederos en la salida con canal vegetado para eventos de lluvia excepcionales que redirige las escorrentías excedentes a los sistemas de drenaje urbano o al cuerpo de agua más cercano (f).

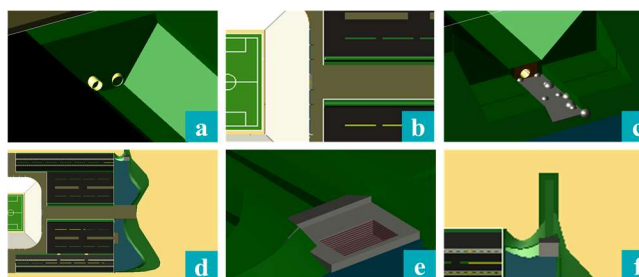


Figura 9: Elementos de conducción y estanque de retención. (a) Cunetas verdes, (b) Cunetas verdes y pavimento no permeable, (c) Dissipador de energía, (d) Estanque de retención, (e) Cámara de descarga, (f) Vertedero.

retención, (e) Cámara de descarga, (f) Vertedero con canal vegetado.

Fuente: Elaboración propia.

Después de planteado el sistema se procedió a realizar un ejemplo de aplicación con el fin de valorar la eficiencia del sistema, para ello se tomaron los datos pluviométricos de la estación Macagua, y se ilustro un estadio ficticio, con características y dimensiones determinadas.

La instalación tiene una capacidad para 35000 personas y un estacionamiento para 4500 vehículos (A=116.100 m²), el campo de juego tiene las dimensiones para llevar a cabo encuentros internacionales, es decir, que cuenta con una zona de césped de 7140 m², la arquitectura del mismo es tal que permite tener un área de techado de aproximadamente 28040 m², el estadio cuenta además con un área total de oficinas de 1200 m², la estimación de los eventos que se llevan a cabo en la edificación se muestran en la tabla III.

Tabla III: Estimación de los eventos realizados.

Tipo de Evento	Eventos al Mes	% de Ocupación	Nº de Personas
Encuentro de clase internacional	2	100%	35000
Encuentros de primera división	4	75%	26250
Encuentros de segunda división	8	50%	17500
Conciertos	2	90%	31500

Fuente: Elaboración propia.

Ya definidas las dimensiones de la edificación se procedió a realizar el balance hídrico considerando las demandas en la instalación, el agua de lluvia y la evaporación generada en el campo de juego.

Para ello se determinó el área total cubierta por césped en la instalación deportiva 115 m x 78 m [6]. La gramínea seleccionada fue Cynodon Dactylon (Bermuda Grass), ya que esta se adapta efectivamente a los climas cálidos y consume menor cantidad de agua. Posteriormente se calcularon las demandas de agua del engramado, considerando los datos climatológicos de la zona (temperatura, humedad, viento, insolación y radiación) y los datos correspondientes al cultivo de referencia (coeficiente Kc), esto con el objetivo de obtener la evapotranspiración real para calcular la demanda de riego en el césped del campo de juego, este proceso se llevó a cabo haciendo uso del software Cropwat de la FAO.

De igual forma se estimaron las demandas generadas dentro de la instalación por los usuarios durante un mes, considerando los tipos, números de eventos y los usuarios administrativos, para ello se necesitaron conocer previamente las dotaciones presentadas en la Norma Sanitaria Venezolana para cada caso [15]. En dicha norma se observa que para los estadios de fútbol le corresponde una dotación de 3 litros día por cada espectador y 6 litros día por metro cuadrado de local destinado a oficinas (considerando que solamente se destinará el agua colectada para usos no potables). El resumen de las demandas se muestra en la tabla IV:

Tabla IV: Demandas mensuales generadas en la instalación.

Mes	Días	D. Eventos	D. Riego	D. Oficinas	D. Total
		(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
Julio	31	1155	538.6	223.2	1916.8
Agosto	31	1155	566.5	223.2	1944.7
Septiembre	30	1155	584.4	216	1955.4
Octubre	31	1155	627.8	223.2	2006.0
Noviembre	30	1155	578.9	216	1949.9
Diciembre	31	1155	541.0	223.2	1919.2
Enero	31	1155	712.2	223.2	2090.4
Febrero	28	1155	778.9	201.6	2135.5
Marzo	31	1155	1164.8	223.2	2543.0
Abril	30	1155	1004.4	216	2375.4
Mayo	31	1155	369.7	223.2	1747.9
Junio	30	1155	386.7	216	1757.7

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de las precipitaciones se tomaron de los registros pluviométricos de la estación Macagua, en estos datos se observa que el mes más lluvioso del año es Julio con una precipitación que ronda los 210 mm, de igual forma, también se pudo conocer que el mes más seco es marzo con precipitaciones alrededor de 19 mm mensuales. En relación con lo anterior para el predimensionado del estanque, se distribuye las precipitaciones de forma tal que el mes con mayor precipitación esté de primero [16], esto con el objetivo de realizar un análisis acertado para el dimensionado del estanque. Este proceso se llevó a cabo haciendo uso de la metodología propuesta por el CEPIS [9], considerando para el agua precipitada en el techado de la instalación una eficiencia de recolección de 0.9 y un coeficiente de escorrentía de 0.92. Los resultados se pueden observar en la tabla V.

Tabla V: Volumen de almacenamiento requerido mensual.

Mes	P	D	D acum.	O	O acum.	V
	mm	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
Ju	210	1916.8	1916.8	4868.6	4868.6	2951.8
A	159	1944.7	3861.6	3686.3	8554.9	4693.3
S	81	1955.4	5816.9	1877.9	10432.8	4615.9
O	83	2006.0	7822.9	1924.3	12357.1	4534.2

N	89	1949.9	9772.8	2063.4	14420.4	4647.6
D	70	1919.2	11692.0	1622.9	16043.3	4351.4
E	38	2090.4	13782.4	881.0	16924.3	3141.9
F	25	2135.5	15917.9	579.6	17503.9	1586.0
M	19	2543.0	18460.9	440.5	17944.4	-516.5
A	29	2375.4	20836.3	672.3	18616.8	-2219.6
May	118	1747.9	22584.2	2735.7	21352.5	-1231.7
J	190	1757.7	24341.9	4405.0	25757.4	1415.5

Fuente: Elaboración propia.

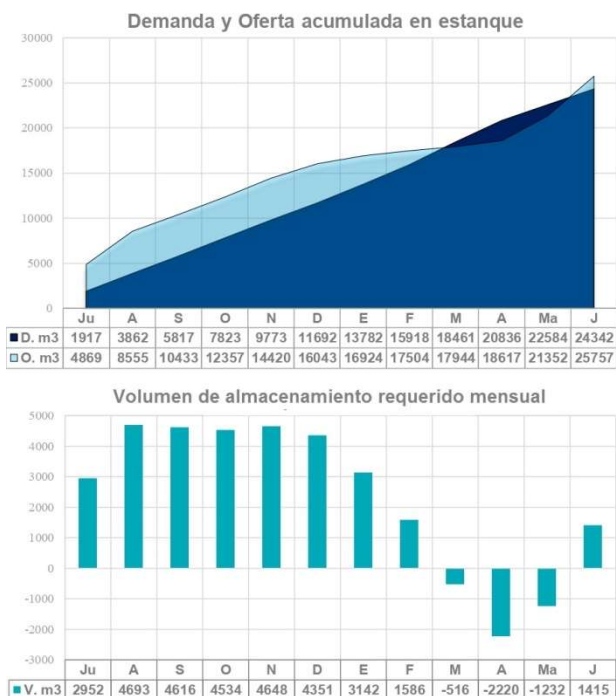


Figura 10: Volumen de almacenamiento, demanda y oferta acumulada del estanque principal.

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 10, el estanque funciona de manera eficiente durante gran parte del año, sin embargo, entre los meses de marzo y mayo existe un déficit en la oferta lo cual impide que se pueda abastecer a la instalación con agua pluvial, mientras que, el remanente máximo ocurre durante el mes agosto con aproximadamente 4700 m³, valor que se utilizó para la construcción del estanque principal. Las dimensiones del mismo fueron de 5m de profundidad x 25m de ancho x 48m de largo, en cuanto a las relaciones de altura útil del mismo se puede decir que el estanque consta de un fondo de piedra picada de 0.4 metros, una cámara de aire de 0.35 metros, un espesor de tapa máximo de 0.30 metros dando como resultado una profundidad neta de agua de 3.95 metros, elevación que permite almacenar un volumen máximo igual a 4740 m³ un poco más que el remanente máximo generado en la instalación.

Es de hacer notar que, aunque el componente tiene dimensiones notables, es de menor envergadura que otros de su tipo en la región como es el caso del estadio Mineirão que tiene una cisterna de aproximadamente 6 mil metros cúbicos o el estadio Mané Garrincha el cual tiene un reservorio de 6840 m³ [17].

En relación con el déficit máximo que ocurre durante el mes de abril, donde la insuficiencia es de aproximadamente 2220 m³ de agua, se consideró dimensionar el segundo estanque de almacenamiento en el campo de juego (Figura 8) el mismo ayuda a disminuir el déficit generado entre los meses marzo y mayo, para ello se estableció un sistema de geoceldas con unas dimensiones de 3 metros de alto x 110 metros de largo x 5 metros de ancho que tiene una capacidad bruta de almacenamiento de 1650 metros cúbicos, consiguiendo con ello satisfacer los requerimientos hídricos durante la mencionada temporada.

VI. CONCLUSIONES

- La propuesta puede ser aplicada en la zona de vida de bosque seco tropical, según la clasificación de Holdridge. Para esta investigación se seleccionó el área de las subcuencas que tributan al embalse Macagua, esta zona presenta una precipitación promedio anual de 1113 mm de lluvia, además presenta un periodo en el cual las precipitaciones son muy escasas (menores a 40 mm de lluvia entre los meses enero y abril).
- Se estableció un sistema de indicadores teniendo como premisas: la zona de vida bosque seco tropical y los usos del recurso en los estadios de fútbol. Posteriormente, se aplicó el modelo Saaty con el instrumento cuestionario a panel de expertos para su jerarquización, con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados: en relación al manejo del agua en la edificación, el indicador de presión más relevante es el de Consumo de recursos hídricos totales con el 42,7 %, mientras que el indicador de estado es la Precipitación sobre el área del estadio con el 45,1 %, y el de respuesta es el de Implementación de medidas estructurales de la edificación, con un 33,9 %.
- El principal criterio ambiental obtenido del panel de expertos para el diseño del sistema, fue Cantidad de agua (consumida y precipitada) en el emplazamiento deportivo, por lo cual, para la

selección de las estructuras se consideró este indicador como determinante. Asimismo para establecer los criterios técnicos se contrastó el indicador Implementación de medidas estructurales con el criterio ambiental antes citado y con ello se consiguió establecer los aspectos técnicos para las estructuras que conformaron el sistema.

- Las estructuras seleccionadas fueron las siguientes: para el almacenamiento del agua pluvial se utilizaron dos depósitos de agua: un estanque de concreto y un sistema geocelular, mientras que para el agua precipitada en el estacionamiento se empleó un estanque de retención. Para el control de las escurrientías generadas en ciertas zonas del estacionamiento se emplearon pavimentos permeables y para la conducción hacia el estanque de retención se destinaron cunetas verdes. En el ejemplo de aplicación la capacidad del estanque de almacenamiento de agua pluvial fue de 4740 m³, esto corresponde al volumen necesario para cubrir el mes con mayor disponibilidad de agua pluvial (noviembre).

VII. RECOMENDACIONES

Conforme a los resultados obtenidos y en base al alcance de la investigación se presentan las siguientes recomendaciones:

- Se considera oportuno aplicar el principio de gestión sostenible en otros ámbitos de los estadios por ejemplo: energía, transporte, desechos sólidos, entre otros.
- Considerar la aplicación de esta propuesta en un caso de estudio y evaluar las medidas aplicadas con un sistema de certificación sostenible, tales como los sistemas LEED, ENVISION, entre otros.
- Evaluar el impacto positivo de este sistema de aprovechamiento en la gestión integral del agua potable en una ciudad, es decir, cuanto volumen de agua potable ahorrado está disponible para el consumo de los ciudadanos.
- Se recomienda desarrollar un sistema de aprovechamiento de agua pluvial en instalaciones destinadas a otras disciplinas deportivas tales como de golf, beisbol, tenis, entre otros.

- El estanque en este diseño es de grandes dimensiones, por lo cual, se recomienda realizar el diseño estructural del mismo.
- Para llevar a cabo la implementación de este sistema se recomienda estudiar la factibilidad económica del mismo.

REFERENCIAS

- [1] UN DESA. *World Urbanization Prospect 2018. Highlights*. (2018). Recuperado de <https://population.un.org/wup/Publications/>
- [2] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, (PNUD). *Transformar nuestro mundo: La agenda 2030 para el desarrollo sostenible*, 2015. Recuperado de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/librarypage.html>
- [3] UN water. *Agua para un mundo sostenibl. Datos y cifras*, (2015). Recuperado de <https://bit.ly/3rC3uK2>
- [4] Diaz, C., & Habib, N. *Sistema de indicadores para la gestión sustentable del agua en edificaciones residenciales unifamiliares. Caso de estudio*, Trabajo de Grado, Escuela de Ingeniería civil, Universidad Católica Andrés Bello extensión Guayana, Estado Bolívar, Venezuela, 2018.
- [5] OCDE. *Desarrollo Sustentable. Estrategias de la OCDE para el siglo XXI*. (1997)
- [6] FIFA. *Estadios de fútbol: recomendaciones técnicas y requisitos*, 2011. Recuperado de <https://www.chilecubica.com/app/download/12730983731/FIFA-Estadios+de+Futbol.pdf?t=1561301184>
- [7] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*, 2001. Recuperado de <https://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%20Lluvia/Guia%20de%20dise%C3%B1o%20para%20captaci%C3%B3n%20de%20agua%20de%20lluvia.pdf>
- [8] Rodríguez, C., & Flores, A, *Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México*, 2008. Recuperado de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/download/12/12/34-1?inline=1>
- [9] Vásquez, R., & García, R, *Indicadores PER y FPER para el análisis de la sustentabilidad en el Municipio de Cihuatlán, Jalisco, México*, 2018. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/322550287_Indicadores_PER_y_FPER_para_el_Analisis_de_la_sustentabilidad_en_el_municipio_de_Cihuatlan_Jalisco_Mexico
- [10] Martínez, E. *Aplicación del modelo jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME*, 2007. Recuperado de <https://documat.uniroja.es/descarga/articulo/2267954.pdf>
- [11] Valarino, E., Yáber, G., & Cemborain, M, *Metodología de la investigación*, 1st edition, Trillas, 2010.
- [12] Bernal, C, *Metodología de la Investigación*, 2nd edition, Pearson Education, 2006.
- [13] Quiroga, R. *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*, 2009. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/5502-guia>

metodologica-desarrollar-indicadores-ambientales-
desarrollo-sostenible

- [14] Juan, L. *Aplicación del proceso analítico jerárquico (AHP) al dimensionamiento de sistemas renovables*, 2016. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/73178>
- [15] Ministerio de Sanidad y Asistencia Social y el Desarrollo Urbano, *Normas Sanitarias para Proyecto, Construcción, Reparación, Reforma y Mantenimiento de Edificaciones*, 1988.
- [16] Palacio, N. *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia*. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25392>
- [17] Menezes, L., Saraiva, M., Aparecida, R., & De Almeida, T. (s/f). A certificação leed em estádios brasileiros: o legado da copa do mundo 2014. Encontro Internacional sobre Gestao Empresarial e Meio Ambiente. Recuperado de <http://www.engema.org.br/XVIENGEMA/143.pdf>