

7-4-2018

Evaluación experimental de la capacidad de retención de agua lluvia de coberturas vegetales mixtas, en un prototipo de techo verde, bajo la dinámica climática de la localidad de Engativá en Bogotá

Lina Marcela Camacho Triana
Universidad de La Salle, Bogotá

Paola Andrea García Loaiza
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Camacho Triana, L. M., & García Loaiza, P. A. (2018). Evaluación experimental de la capacidad de retención de agua lluvia de coberturas vegetales mixtas, en un prototipo de techo verde, bajo la dinámica climática de la localidad de Engativá en Bogotá. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1099

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA LLUVIA DE
COBERTURAS VEGETALES MIXTAS, EN UN PROTOTIPO DE TECHO VERDE, BAJO LA DINÁMICA
CLIMÁTICA DE LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ EN BOGOTÁ.**

LINA MARCELA CAMACHO TRIANA

PAOLA ANDREA GARCÍA LOAÍZA

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ D.C

2019

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA LLUVIA DE
COBERTURAS VEGETALES MIXTAS, EN UN PROTOTIPO DE TECHO VERDE, BAJO LA DINÁMICA
CLIMÁTICA DE LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ EN BOGOTÁ.

LINA MARCELA CAMACHO TRIANA

PAOLA ANDREA GARCÍA LOAÍZA

Tesis para optar al título de
Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director

Andrés Camilo Vargas, MSc
Ingeniero Ambiental y Sanitario

Codirector

Néstor Mancipe, PhD
Ingeniero Ambiental y Sanitario

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ D.C

2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

DIRECTOR

COORDIRECTOR

JURADO

JURADO

AGRADECIMIENTOS

Dedicamos entre trabajo principalmente a nuestros padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo nos han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en nosotras el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios esta nosotras siempre.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Ingeniero Néstor Mancipe y al Ingeniero Camilo Vargas, quienes nos animaron a emprender la elaboración de esta tesis y el desarrollo de esta idea desde sus inicios, su guía, apoyo e interés a lo largo de este proceso ha sido fundamental para lograr culminar este proyecto e incitar a la investigación, proceso fundamental para la vida de un ingeniero. De igual manera, queremos agradecer a la ingeniera Rosalina y a los gestores ambientales de la junta de acción comunal del barrio Nueva Marsella por acercarnos a los techos verdes y ofrecernos el espacio que después promovería al desarrollo de este proyecto.

Agradecemos al Ingeniero Julio A. Robayo por su apoyo incondicional durante el montaje del techo verde, sin su ayuda y experiencia, el monitoreo constante a través de los dispositivos electrónicos no hubiese sido posible.

Finalmente, agradecemos al Ingeniero Sebastián Alarcón que a pesar de los factores que dilataron la continuación de esta tesis, ofreció sus conocimientos para lograr superar los inconvenientes técnicos durante la primera fase de construcción.

DEDICATORIA

*A mi mamá, quién es el reflejo más grande de la constancia y la fuerza de voluntad,
A mi papá que sin tener una carrera profesional es para mí el ingeniero más grande,
A mi hermana que de cualquier manera me ha ayudado a lo largo de mi carrera,
A mis tíos, Nubia, Fabio y Stella que me han acompañado en cada uno de mis logros,
Y a Nubia Atuesta por creer en mí, sin ella esta carrera no hubiese iniciado para mí.*

Lina Marcela Camacho

*A Dios que sin su guía no habría culminado tantos logros, por brindarme fuerza y
sabiduría para continuar sin desfallecer,*

*A mis padres por el incalculable esfuerzo y sacrificio que han hecho para sacarme
adelante, por su amor, paciencia y valores que gracias a eso soy una persona llena de
virtudes,*

A mis hermanas, que han sido un apoyo incondicional,

*A mi abuela materna, que ha sido la mejor guía y que gracias a sus palabras que me
permitieron seguir adelante.*

Paola Andrea García Loaiza

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Techos Verdes - Cárcel Tuluá / Cali (Colombia)	8
Figura 2. Techo Verde Extensivo Vista Hermosa Park, Los Ángeles, California	9
Figura 3. Componentes Principales Techo Verde	9
Figura 4. Espesor de las capas de un techo verde extensivo	10
Figura 6. Espesor de las Capas del Techo Verde	16
Figura 7. Distribución de los módulos	16
Figura 8. Arduino Due	25
Figura 9. Conversor Nivel Lógico 8 Canales Txs0108e	26
Figura 10. Conexión del Conversor de Nivel a los Sensores Ultrasónicos.....	26
Figura 11. RTC DS 3231	26
Figura 12. Conexión entre Módulo RTC Ds 3231 y Arduino	27
Figura 13. Módulo MicroSD	27
Figura 14. Conexión entre Módulo Micro SD y Arduino Due	27
Figura 15. Sensor Ultrasónico HC-SR04	28
Figura 16. Conexión entre Sensor Ultrasónico HC-SR04 y Arduino	28
Figura 17. Sensor Capacitivo de Humedad de Suelos SEN0193.....	29
Figura 18. Conexión entre el Sensor Capacitivo de Humedad de Suelos y la placa de Arduino	29
Figura 19. Fuente Conmutada de 5v.....	29
Figura 20. Tarjeta XL4005.....	30
Figura 21. Dispositivos Electrónicos Protegidos	30
Figura 22. Proceso para Obtener el Contenido de agua en la Planta	34
Figura 22. Distribución de Gumbell para la zona de estudio	39
Figura 23. Especie Vegetal B, Antes y Después del estudio	45

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Capa de Polietileno con Protección Solar	12
Fotografía 2. Estructura de Madera	13
Fotografía 3. Sistema de tuberías	13
Fotografía 4. Medio de Filtración	14
Fotografía 5. Sistema de Drenaje	15
Fotografía 6. Marcación del Techo Verde.....	17
Fotografía 7. Experiencia Techo Verde, Localidad de Kennedy.....	19
Fotografía 8. Pesado de los componentes del techo verde	37

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Antecedentes de Implementación y Evaluación de Techos Verdes</i>	6
Tabla 2 <i>Matriz de Selección de Especies Vegetales</i>	20
Tabla 3 <i>Escala de Valoración para la Selección de Especies Vegetales</i>	21
Tabla 4 <i>Especies vegetales evaluadas</i>	23
Tabla 5 <i>Variables Meteorológicas de las Estaciones Climatológicas más Cercanas a la zona de Estudio</i>	31
Tabla 6. <i>Pregunta ANOVA</i>	35
Tabla 7 <i>Nombres claves para las Especies Vegetales</i>	36
Tabla 11 <i>Resultados de la Valoración de las Especies Vegetales</i>	39
Tabla 12 <i>Volumen total de precipitación y escorrentía</i>	41
Tabla 13 <i>Valores de Eto Diarios para el Tiempo de Estudio</i>	42
Tabla 14 <i>Balance Hídrico para el Tiempo de Estudio</i>	43
Tabla 15 <i>Contenido Hídrico de las Especies Vegetales</i>	44
Tabla 16. <i>Resultados del Porcentaje de Eficiencia de Retención del agua Lluvia</i>	45
Tabla 17 <i>Matriz de correlación con respecto a la capacidad de retención del agua lluvia</i>	46
Tabla 18 <i>Análisis de Varianza de un factor para A y A+B</i>	47
Tabla 19 <i>Análisis de Varianza de un factor para A y A+C</i>	48
Tabla 20 <i>Análisis de Varianza de un factor para B y B+C</i>	48
Tabla 21 <i>Análisis de Varianza de un factor para B y B+A</i>	48
Tabla 22 <i>Análisis de Varianza de un factor para C y A+C</i>	49
Tabla 23 <i>Análisis de Varianza de un factor para C y B+C</i>	49
Tabla 24 <i>Resultados del análisis de retención de la escorrentía según t-Test</i>	49

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Carga máxima aceptable sobre el inmueble	14
Ecuación 2. Distribución de Gumbel.....	17
Ecuación 3. Probabilidad de que se presente un valor igual o menor que x	17
Ecuación 4. Probabilidad.....	18
Ecuación 5. Valor μ	18
Ecuación 6. Valor α	18
Ecuación 7. Probabilidad de exceso	18
Ecuación 8. Balance hídrico para sistema modular de techo verde extensivo	30
Ecuación 9. Modificación de la ecuación de Penman-Monteith (FAO)	32
Ecuación 10. Evapotranspiración real	32
Ecuación 11. Volumen de interceptación	33
Ecuación 12. Contenido hídrico.....	33
Ecuación 13. Contenido hídrico relativo.....	33
Ecuación 14. Porcentaje de retención de agua lluvia	34
Ecuación 15. Carga mínima aceptable sobre el inmueble en el que se encuentra el techo verde	36
Ecuación 16. Masa de agua del módulo	37
Ecuación 17. Densidad de agua para un módulo	37
Ecuación 18. Densidad para el módulo	37
Ecuación 19. Peso específico del módulo	37
Ecuación 20. Peso específico del contenido de agua del módulo	37
Ecuación 15. Fuerza ejercida por el módulo control	39
Ecuación 16. Fuerza ejercida por el módulo con cobertura vegetal	39
Ecuación 17. Fuerza ejercida por el techo verde	40
Ecuación 18. Presión ejercida por el techo verde sobre el inmueble	40

Tabla de Contenidos

Introducción.....	1
Justificación.....	2
1. Objetivos	4
1.1 Objetivo General.....	4
1.2 Objetivos Específicos.....	4
2. Marco de referencia.....	4
2.1 Descripción climatológica general del área de estudio.....	4
2.2 Antecedentes	4
2.2.1 Problemática en Bogotá.....	4
2.2.2 Soluciones convencionales a picos de escorrentía en la ciudad de Bogotá D.C.....	5
2.1.3 Antecedentes de implementación y evaluación de techos verdes a nivel local e internacional	5
2.3 Marco teórico	7
2.3.1 Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS).....	7
3. Metodología	10
3.1 Diseño y construcción del techo verde.....	10
3.1.1 Selección del área de estudio.....	10
3.1. 2 Revisión de parámetros de diseño	12
3.1.3 Periodo de retorno para la zona de estudio	17
3.2. Selección de la cobertura vegetal.....	18
3.2.1 Matriz de valoración.....	19
3.2.2. Especies vegetales evaluadas.....	23
3.2.3 Sistema de plantación	24
3.3 Monitoreo.....	24
3.3.1 Dispositivos electrónicos empleados	25
3.3.2 Balance hídrico del techo verde.....	30
3.3.3 Contenido de agua en la planta	33
3.3.4 Evaluación de la eficiencia de retención de la precipitación	34
4. Resultados y discusión	35
4.1 Resultados del diseño y construcción del techo verde.....	36
4.1.1 Selección del área de estudio.....	36
4.1.2 Revisión de parámetros de diseño	36
4.1.3 Precipitación máxima de la zona de estudio para un periodo de retorno de 100 años	39
4.2 Resultados de la valoración de las especies vegetales.....	39
4.3 Resultados del monitoreo.....	40
4.3.1 Balance hídrico del techo verde.....	41
4.3.2 Contenido de agua en la planta	44

4.3.3 Porcentaje de eficiencia de retención de la precipitación	45
4.3.4 Factores que afectan la capacidad de retención del agua lluvia	46
4.3.5 Resultados del análisis de varianza de la capacidad de retención de la escorrentía para los módulos del techo verde.....	47
4.3.6 Resultados del análisis de retención de la escorrentía según el t-Test	49
5. Conclusiones y recomendaciones	50
Bibliografía.....	53
Anexos	58
A. Datos climatológicos de la zona de estudio	58
B. Código utilizado para la programación de los sensores.....	61
C. Eventos de precipitación para el momento de estudio y datos climatológicos.....	69
D. Resultados % de retención del agua lluvia para A+B	70
E. Resultados de % de retención del agua lluvia para A+C	71
F. Resultados de % de retención del agua lluvia para B+C	72
G. Resultados de % de retención del agua lluvia para B	73
H. Resultados del % de retención del agua lluvia para C	74
J. Resultados de % de retención del agua lluvia para A	75
K. Resultados del % de retención del agua lluvia para el módulo control (sustrato).....	76
L. ETR Vs precipitación para el mes de Octubre	77
M. ETR Vs precipitación para el mes de Noviembre	78

Introducción

De acuerdo a Shafique, Kim & Rafiq (2018), en la última década se han realizado varias investigaciones sobre los techos verdes para mitigar los efectos adversos de la urbanización y la reducción de los costos del manejo de las aguas lluvias. Entre las investigaciones realizadas sobre los techos verdes, la US EPA (2009), ha encontrado tasas de reducción de la escorrentía entre un 45 a un 55% mientras que Cipolla et al. (2015) tasas de retención promedio anual de 51,9%. Rosatto, (2013), concluyó que, a mayor contenido de sustrato, mayor porcentaje de retención, mientras que Ferrans (2016), dedujo que el tipo de sustrato es la variable más relevante al evaluar el desempeño del techo verde. Sin embargo, documentos como el de Pérez (2015), aprecian un mejor desempeño hidrológico con módulos vegetados en comparación a módulos que contienen sustrato únicamente, pero recomienda llevar a cabo mediciones en tiempo húmedo (períodos de lluvia abril-mayo y octubre-noviembre) para valorar el comportamiento del sistema bajo condiciones de saturación.

Con el objetivo de evaluar experimentalmente la capacidad de retención del agua lluvia durante el periodo húmedo de octubre-noviembre del año 2018 para coberturas vegetales mixtas, en un prototipo de techo verde ubicado en la localidad de Engativá, se realiza el diseño y construcción de un techo verde, la selección de la cobertura vegetal y el monitoreo hidrológico de los eventos de precipitación durante el periodo de estudio. Calculando la evapotranspiración del techo verde y el balance hídrico general correspondiente, se determina que la selección adecuada de la cobertura vegetal puede influenciar significativamente el desempeño de los techos verdes para disminuir el volumen de percolación. Durante el periodo de estudio se evidencia, que las coberturas vegetales mixtas presentan mejores eficiencias que el módulo control y las especies vegetales que no se encuentran combinadas. Durante el periodo de menor volumen de precipitación (mes de octubre), todas las especies vegetales y el módulo control tienen eficiencias cercanas al 100%, esta situación difiere durante el periodo de mayor contenido de precipitación (mes de noviembre), donde la especie vegetal C, *Sedum Compressum*, presenta el mejor desempeño con una eficiencia de retención del agua lluvia del 89,84%.

Justificación

La transformación de los ecosistemas ocasionado por la urbanización ha generado la inestabilidad del ciclo hidrológico, lo cual ha llevado a diseñar y construir una infraestructuras que sea capaz de retener un evento natural como es la precipitación en superficies impermeabilizadas. La escorrentía termina transformándose mayoritariamente en escorrentía superficial al no encontrar un medio en el cual infiltrarse debido a la impermeabilización del suelo. De la misma manera, el constante desarrollo urbano ha generado un retroceso sobre las condiciones habituales y el proceso de los sistemas naturales, el déficit de amortiguación del agua lluvia en el espacio público y la poca cobertura vegetal de la ciudad sobre todo en periodos de mayor precipitación han ocasionado inundaciones.

En la ciudad de Bogotá, el desborde de los ríos Tunjuelito y Bogotá o el rebosamiento de los sumideros (apoyado por la mala disposición de los residuos sólidos), nos muestran la necesidad de implementar superficies permeables dado que los sistemas convencionales no son capaces de controlar los eventos de mayor precipitación. De acuerdo a la Subdirección de Ecurbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE, 2011), estos sistemas convencionales también disminuyen la calidad del agua al encontrarse con los rebosamientos de los sistemas de alcantarillado y otras amplias gamas de contaminantes producto del lavado del medio.

La normatividad de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá reconocen los **Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)** como un sistema que presenta ventajas sobre los sistemas convencionales. En la norma técnica NS-085 se establece que estos son el conjunto de soluciones que se adoptan en el sistema de drenaje urbano con el objetivo de retener el mayor tiempo posible las aguas lluvias a través de la reproducción del ciclo hidrológico natural previo a la urbanización de la manera más fiel posible, de igual manera se tiene que un sistema de drenaje tiene como función principal la retención de aguas lluvias en el mayor tiempo posible siempre y cuando sea en su punto de origen sin llegar a generar problemas de inundación, de igual manera minimizando los impactos negativos que ha producido los sistemas urbanístico en cuenta dos variables importantes como lo son la cantidad y calidad de la escorrentía y evitando de esta manera el sobredimensionamientos o quizás ampliaciones en el sistema que en la mayoría de casos son innecesarias, “la filosofía de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana”

Los techos verdes son una tipología que hace parte de este tipo de sistemas SUDS, los cuales son reconocidos tanto a nivel internacional como a nivel nacional.

En Bogotá, las investigaciones de Galvis, (2016) y Vásquez, (2013), han evaluado diferentes mezclas de sustratos para techos verdes donde se ha determinado que para un mismo sustrato la cobertura vegetal más densa tiene una mayor capacidad para retener mayores volúmenes de escorrentía, igualmente, se ha encontrado que para eventos de menor volumen de precipitación, (valores cercanos a 3,2 mm), todos los sustratos analizados tenían la capacidad de retener valores cercanos al 100% de agua precipitada, pero a medida que aumenta el volumen de precipitación los sustratos se saturan disminuyendo su capacidad de retención.

Pérez (2015), concluye que los módulos vegetados presentan mejores desempeños que los módulos que contienen solo sustrato. No obstante, se recomiendan mediciones para periodos de lluvia (abril-mayo, octubre-noviembre) para valorar el comportamiento del sistema bajo condiciones de saturación.

Si los módulos vegetados presentan mejores eficiencias de retención del agua lluvia, ¿existirá una combinación de especies vegetales que incremente significativamente el desempeño de los techos verdes?; ¿Cambiará el desempeño de los módulos vegetados durante el tiempo de lluvias? Con la evaluación de las coberturas vegetales mixtas, las especies vegetales sin estar combinadas y un módulo control que contiene solamente sustrato, para el periodo húmedo (octubre-noviembre) del año 2018, se espera determinar si los módulos vegetados presentan mejores desempeños que el módulo control y cuál es la cobertura vegetal con mayor capacidad de retención del agua lluvia, para así, optimizar el diseño de un techo verde.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar la capacidad de retención de agua lluvia de coberturas vegetales mixtas, en un prototipo de techo verde, bajo la dinámica climática de la localidad de Engativá en Bogotá.

1.2 Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar un prototipo de techo verde.
- Seleccionar el tipo de cobertura vegetal mixta a evaluar en el techo verde piloto.
- Evaluar el desempeño de retención de agua lluvia del prototipo para las condiciones hidrológicas del área de estudio.

2. Marco de referencia

En el marco de referencia se encuentran tres secciones. La primera corresponde a la descripción climatológica general del área de estudio, la segunda a los antecedentes y la tercera sección al marco teórico.

2.1 Descripción climatológica general del área de estudio

La descripción climatológica de la zona de estudio es relevante en el diseño del techo verde ya que permite determinar el máximo total esperado de percolación de los módulos cuando el techo verde se encuentra en estado saturado.

La localidad de Engativá presenta una temperatura promedio de 13.4°C, la precipitación media anual alcanza los 792.9 mm, siendo septiembre, octubre y noviembre los meses más lluviosos, y diciembre, enero y febrero los meses más secos. Conforme a la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, (2009).

La estación del Jardín Botánico es la estación climatológica ordinaria más cercana a la zona de estudio con mayor representatividad de datos. En la sección de anexos, en el apartado sobre los Datos climatológicos de la zona de estudio, se encuentran los valores totales mensuales de precipitación, valores medios mensuales de temperatura y los valores medios mensuales de humedad relativa, desde el año 1974 hasta mediados del año 2017.

2.2 Antecedentes

En el apartado de antecedentes se resume la problemática en Bogotá, las soluciones convencionales a picos de escorrentía en la ciudad de Bogotá D.C y los antecedentes de implementación y evaluación de techos verdes a nivel local e internacional.

2.2.1 Problemática en Bogotá

La zona de confluencia intertropical que cruza la ciudad dos veces al año influye en el comportamiento de las lluvias, esta incide en la amortiguación de aguas lluvias en el espacio público. Esta problemática se encuentra mayormente influenciada por el desarrollo urbano y las pocas coberturas vegetales (que ayudan a interceptar el agua lluvia), ocasionando la impermeabilización de la ciudad y provocando que los sistemas de drenaje se desborden debido a los grandes volúmenes de agua pluvial.

De igual manera, conforme a la revista Semana Sostenible (2018), la falta de ordenamiento territorial y la deforestación son causas que contribuyen a que se presenten inundaciones. El ingeniero Mancipe declara que otras problemáticas como redes de drenaje antiguas, sistemas combinados, el crecimiento vertical que aumenta drásticamente la densidad poblacional por área construida y la impermeabilización de superficies son factores que inciden en este fenómeno. (N. Mancipe, comunicación personal, 18 de enero de 2018).

2.2.2 Soluciones convencionales a picos de escorrentía en la ciudad de Bogotá D.C

En la ciudad de Bogotá, se han implementado grandes proyectos que han generado la disminución de los eventos de inundación. A continuación, se listan algunos ejemplos de estos proyectos que se encuentran publicados en la página web del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, IDIGER, (2017).

- La adecuación del cauce del río Bogotá para permitir que el sistema de drenaje de la ciudad tenga un tránsito holgado.
- La construcción del embalse seco de Cantarrana en el Río Tunjuelito, para la contención de las grandes avenidas procedentes de la cuenca alta.
- Mantenimientos preventivos en los cuerpos de agua, con acciones de retiro de residuos sólidos y otras complementarias que reducen el riesgo de inundación.
- Plan de adaptación del sistema de drenaje (quebradas, ríos, humedales, canales).
- Estudios de prospección hidrometeorológica e identificación del efecto de la variabilidad climática sobre las amenazas por fenómenos hidrometeorológicos.

Otras soluciones convencionales como la rehabilitación de redes, la separación de redes y los aliviaderos, han sido diseñadas para disminuir los eventos de inundación.

2.1.3 Antecedentes de implementación y evaluación de techos verdes a nivel local e internacional

En la Tabla 1, se muestra un resumen de las experimentaciones y varios de los documentos referentes a la investigación de los techos verdes. A nivel internacional, se ha evaluado la eficiencia de los techos verdes para contener el agua lluvia y la calidad del agua de percolación al igual que en la ciudad de Bogotá. Varias investigaciones concuerdan con que las coberturas vegetales incrementan la capacidad de retención del agua lluvia. Sin embargo, otros documentos hacen énfasis en el tipo de sustrato y su grosor, pero se resalta que el desempeño del techo verde depende de las condiciones climatológicas de la zona.

Tabla 1 Antecedentes de Implementación y Evaluación de Techos Verdes

Estudio	Ubicación	Importancia
(US EPA, 2009)	Toronto, Canadá	La tasa de reducción de la escorrentía oscila entre un 45 a un 55% y se encuentra en función de la densidad del medio, la pendiente del techo, la precipitación anual y los efectos de las temporadas frías.
(Rossato, 2013)	Buenos aires, Argentina	Para 30 cm de sustrato, las plantas de <i>Sedum Acre</i> presentan mayores porcentajes de retención, mientras que a 6 cm de sustrato se presentan menores porcentajes de retención.
(Water science and technology, 2013)	Polonia	Los techos verdes afectan significativamente el incremento de la retención del agua lluvia. Se recomienda una escala técnica para determinar el rol de la pendiente del techo verde, la cobertura de la vegetación y el proceso de secado durante los eventos intermedios del periodo de evaluación.
(Cipolla. et. al., 2016)	Bologna, Italia	Durante los 69 eventos de precipitación evaluados, se evidencia un rango del 6.4% al 100% de retención del agua lluvia con un valor medio anual del 51.9%. Otro de los resultados es el comportamiento hidrológico de un techo verde que es específico a su ubicación, así como a los parámetros ambientales locales, las características de la vegetación y las propiedades físicas de las capas.
(Versini, et. al., 2015)	Marne-la-Vallée, Francia	Cuando los techos verdes son implementados a gran escala pueden afectar la escorrentía urbana en términos de volumen y picos de escorrentía, evitando inundaciones en varios casos, siendo menos efectivo ante eventos de mayor precipitación.
(Ferrans Ramirez, 2016)	Bogotá, Colombia	El tipo de sustrato es la variable más relevante al momento de estudiar el desempeño de los techos verdes en cuanto a cantidad de agua, mientras que el tipo de vegetación no evidencia tener el mismo efecto.
(Oviedo Escobar, 2012)	Soacha, Colombia	Los techos verdes reducen los costos del alcantarillado mitigando eventos de inundación. En este proyecto se evidencia un 22% de ahorro sobre el valor inicial de alcantarillados con techos convencionales.
(Trujillo Trujillo, 2016)	Bogotá, Colombia	Se mejora la neutralización del pH por parte de los techos verdes en comparación con techos de fibrocemento y plástico. También se encuentra que las especies de <i>Sedum</i> prolongan la vida útil del sistema.
(Pascual. et. al., 2018) Pascual, Et. Al	Bogotá, Colombia	La información recolectada acerca de la cantidad y calidad de la escorrentía de los techos verdes respecto a las condiciones específicas del sitio no es suficiente para el trópico de los Andes. En el estudio

Estudio	Ubicación	Importancia
		se evalúan 12 sistemas modulares, encontrando que en algunos casos las variables de diseño (tipo de sustrato y cobertura vegetal) fueron significativas para describir los coeficientes de retención del agua lluvia.
(Pérez Murrillo, 2015)	Bogotá, Colombia	Se aprecia un mejor desempeño hidrológico con módulos vegetados en comparación al módulo que contiene sustrato únicamente.

Fuente: Las autoras

2.3 Marco teórico

En esta sección se puede encontrar los conceptos de Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS), los techos verdes como Sistema de Drenaje Sostenible, la definición de techos verdes extensivos y las variables de diseño para techos verdes extensivos.

2.3.1 Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS)

Los SUDS son ampliamente conocidos como técnicas de ingeniería ‘verde’. En el documento de la European Union (2007), se encuentra que estos sistemas integrados del manejo de la escorrentía tienen la habilidad de manejar el agua lluvia ante los eventos de extrema precipitación, son menos costosos que los sistemas convencionales y de fácil mantenimiento. De acuerdo con Escobar, (2012), los SUDS se clasifican de acuerdo con su manejo de la escorrentía en general:

- i. Infiltración: Capturan el agua de escorrentía y la infiltran en el terreno.
- ii. Detención: Capturan un volumen de escorrentía y lo retienen temporalmente para su posterior liberación.
- iii. Humedales: Son estanques con áreas poco profundas y vegetación propia de los humedales, que remueven algunos contaminantes presentes en el agua y promueven la generación del hábitat.
- iv. Transporte: Sistemas diseñados para conducir y tratar el agua de escorrentía.
- v. Filtración: Usan una combinación de material granular filtrante como arena, suelo, material orgánico, carbón o membranas para remover contaminantes en el agua de escorrentía.
- vi. Retención: Capturan un volumen de escorrentía y lo retienen hasta que es desplazado parcial o totalmente por un nuevo evento de escorrentía.

Los techos verdes son una de las distintas formas en que se puede presentar un SUDS y nacen como una solución para aumentar el tiempo de concentración de lluvia, buscando disminuir los picos de caudal generados por el proceso de las ciudades.

2.3.1.1 Techos verdes como Sistema de Drenaje Sostenible

Oviedo (2012) define un techo verde como, una azotea verde o cubierta ajardinada, la cual es la parte de una estructura edificada que está parcial o totalmente cubierta de vegetación. La eficiencia de un techo verde para reducir los picos de caudales depende de la condición de humedad antecedente, el tipo de planta y de sustrato, y la tasa de evapotranspiración.

Para los techos verdes modernos se usan sistemas integrales, compuestos por varias capas de materiales, diseñados para promover el crecimiento de la vegetación elegida. En la Figura 1, se observa un ejemplo de techo verde ubicado en la cárcel de Tuluá en Cali, Colombia.



Figura 1. Techos Verdes - Cárcel Tuluá / Cali (Colombia)

Fuente: Adaptado *Groncol* (2016)

Los techos verdes se clasifican en dos tipos, intensivos y extensivos. Los intensivos son en general utilizados en jardines interiores y para plantas de gran tamaño. Este tipo de techo verde tiene un sustrato con un grosor de más de 20 centímetros y requiere continuo mantenimiento e irrigación. En general, se puede ubicar un amplio número de plantas y el costo es muy elevado.

Los techos verdes extensivos son en general más delgados, livianos y económicos. Trujillo, (2016), menciona que el tipo de plantas utilizadas en este tipo de techo verde son especies de *Sedum*, *Ray-grass* e incluso plantas hortícolas, como *Lactuca sativa* y *Raphanus sativus*. Para este tipo de techos verdes el sustrato no suele tener más de 9 centímetros de profundidad.

2.3.1.2 Techos verdes extensivos

Para los propósitos de este estudio, se evalúa un tipo de techo verde extensivo al igual que en la experimentación de Pérez (2015), dado que este tipo de SUDS ha sido implementado en las principales ciudades de Colombia. Los techos verdes extensivos son cultivados sobre una capa muy fina de sustrato y requieren muy poco cuidado. Ferrans, (2016), considera para fines de mantenimiento una visita al año como suficiente para este tipo de techos. En la Figura 2, se muestra un tipo de techo verde extensivo ubicado en la ciudad de Los Ángeles, California.



Figura 2. Techo Verde Extensivo Vista Hermosa Park, Los Ángeles, California

Fuente: Tomado de (Trujillo Trujillo, 2016)

2.3.1.3 Variables de diseño para techos verdes extensivos

- Inclinação del techo verde

Según Trujillo, (2016), los techos verdes son principalmente implementados en techos planos, sin embargo, algunos techos verdes pueden ser inclinados hasta 15-20°. El límite está definido por los costos estructurales del techo para que la cobertura no se deslice y la altura del sustrato sea relativamente uniforme.

- Altura del techo verde

Esta puede ser determinada de acuerdo con su clasificación, ya sea extensivo o intensivo.

- Capas del techo verde

De acuerdo con la función del techo verde, tanto los materiales como el grosor y la separación de las capas pueden variar. Los componentes principales de un techo verde pueden apreciarse en la Figura 3. Las funciones de las capas son: proveer espacio a las plantas para el desarrollo de sus raíces, contener los nutrientes necesarios, retener agua, drenar el exceso y proteger el techo estructural. Las capas se combinan de acuerdo con dos enfoques distintos, el primero, en el cual cada capa separada cumple con una función particular o bien las capas individuales cumplen con más de una función.

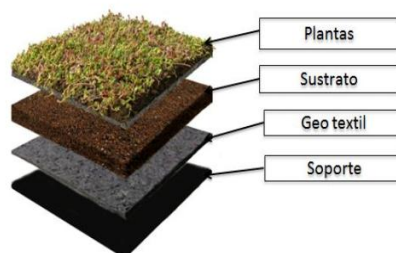


Figura 3. Componentes Principales Techo Verde

Fuente: Tomado de (Trujillo Trujillo, 2016)

En la Figura 4 se pueden observar el espesor de las capas de un techo verde extensivo:

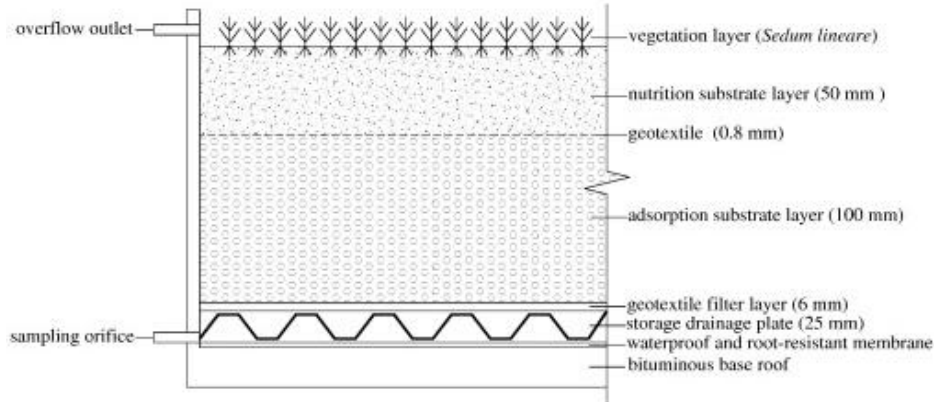


Figura 4. Espesor de las capas de un techo verde extensivo

Fuente: (Wang, Tian, & Zhao, 2017)

3. Metodología

La metodología de este estudio se consta de tres grandes secciones: la primera en la cual se encuentra el diseño y construcción del techo verde, la segunda acerca de la selección de la cobertura vegetal y la tercera sección se relaciona con el monitoreo del techo verde durante los meses de octubre y noviembre del año 2018.

3.1 Diseño y construcción del techo verde

El diseño del techo verde contiene una recopilación de diferentes documentos técnicos e investigaciones locales e internacionales teniendo en cuenta la accesibilidad, la carga permisible por el inmueble y los datos climatológicos de la zona de estudio para determinar la impermeabilización del sistema, la estructura soporte y el volumen de los recipientes que contienen la percolación de cada módulo al igual que los diferentes componentes de las capas del techo verde.

3.1.1 Selección del área de estudio

La selección del área de estudio se encuentra definida por la accesibilidad. El monitoreo constante del techo verde, el espacio requerido y el consumo energético que requieren los dispositivos electrónicos, influyen en la elección de la zona de estudio localizada en la localidad de Engativá, Figura 5:

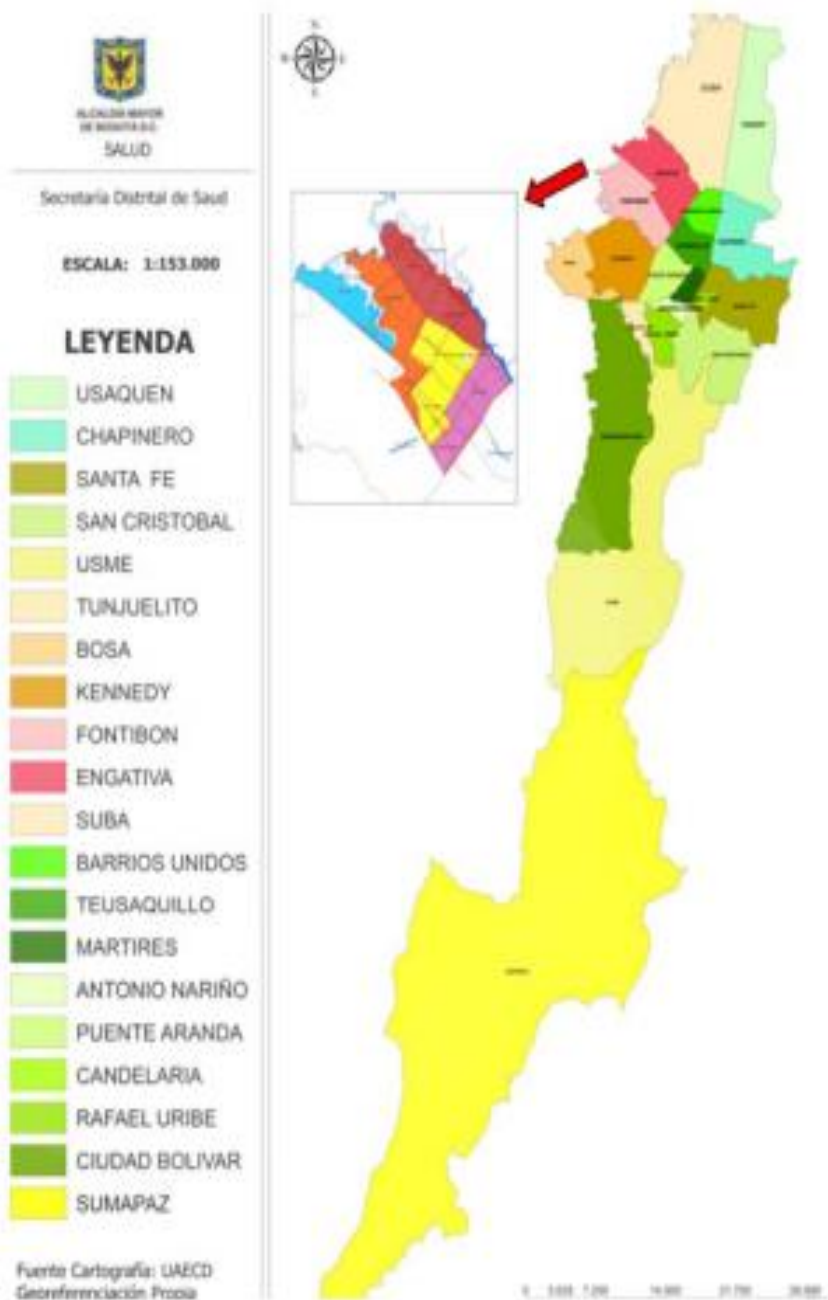


Figura 5. Ubicación de la localidad de Engativá en Bogotá, D.C

Tomado de (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2009)

Según Cogua, (2013), la localidad número (10) de la ciudad de Bogotá, Engativá, se sitúa en el sector noroccidental de la ciudad, limita al norte con la localidad número (11), Suba; al oriente con las localidades (12), Barrios Unidos y (13), Teusaquillo; al sur con la localidad de (09), Fontibón; y al occidente con los municipios de Cota y Funza. La zona de estudio pertenece a la UPZ número (26) 'Las Ferias', en el barrio Bellavista Occidental.

3.1. 2 Revisión de parámetros de diseño

Para la revisión de parámetros de diseño se cuenta con un análisis de varios documentos, tanto nacionales como internacionales: Descripciones técnicas para la selección de los componentes de los techos verdes que se encuentran en La guía de techos verdes para la ciudad de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente, (2011); investigaciones relacionadas con el desarrollo de sustratos eficientes para techos verdes que se encuentran en los documentos de Trujillo, (2016), y Vásquez, (2013); la evaluación de la guía internacional de la primera compañía británica en introducir los techos verdes desde hace 30 años, Bauder, (2017); el análisis de las políticas y estrategias para el manejo del agua lluvia con infraestructuras verdes de la US EPA (2009); y los elementos técnicos para la selección de los componentes de los techos verdes disponibles en el manual de Tolderlund, (2010).

3.1.2.1 Sistema de impermeabilización, drenaje, retención de la percolación y carga estructural

Las condiciones climatológicas para el momento del estudio inciden en la configuración del sistema de impermeabilización, drenaje y percolación. La zona de estudio históricamente presenta eventos de precipitación de mayor magnitud con un valor mensual máximo de 275,9 mm y humedades relativas máximas de 95%. (Ver Anexo A).

- Sistema de impermeabilización

El sistema de impermeabilización para proteger la estructura de madera sobre la cual se encuentra el techo verde cuenta con mantos bituminosos y un manto de polietileno con protección solar. En la Fotografía 1, se puede observar este manto de polietileno.



Fotografía 1. Capa de Polietileno con Protección Solar

Fuente: Las autoras

- Sistema de drenaje

Los módulos plásticos son el soporte del medio de crecimiento y vegetación que proporcionan estabilidad mecánica. Este techo verde se considera como sistema tipo receptáculo y un

sistema de tipo multicapa elevado, que, según la Secretaría Distrital de Ambiente, (2011), recibe este nombre porque se apoya sobre pedestales que elevan el sistema de techo verde impermeabilizado (Ver Fotografía 2). Gracias a la elevación del techo verde, se facilita tanto el acceso al sistema como la recolección de la percolación que sucede en cada uno de los módulos.



Fotografía 2. Estructura de Madera

Fuente: (García, et. al. (2017))

Para garantizar el drenaje, se ubica una pendiente del 2% en conjunto con un sistema de drenaje, lo que permite drenar el techo verde. (Ver Fotografía 3).



Fotografía 3. Sistema de tuberías

Fuente: Las autoras

- Sistema de percolación

La percolación del techo verde es recolectada por baldes de aproximadamente 19 L en cada módulo. Los valores máximos mensuales de precipitación recopilados para los meses octubre y noviembre en la zona de estudio, históricamente cuentan con un valor máximo de 67,8 mm, (Ver anexo A). Suponiendo que el techo verde se encuentra en estado saturado, el volumen

máximo por módulo esperado es el resultado de la multiplicación de la precipitación máxima y el área de cada módulo: 16 L, los cuales no superan el volumen del recipiente de recolección.

- Carga estructural máxima aceptable

Para evaluar la capacidad de carga del inmueble sobre el cual se ubica el techo verde, (Ver Ecuación 1), se utiliza el valor de la carga muerta máxima para un piso en concreto: 0,0200 kN/m², material de la estructura del inmueble en donde se localiza el techo verde. Este valor se encuentra en la norma NSR-10 Título B del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (1997). Para calcular la carga mínima aceptable sobre el inmueble, se multiplica el espesor del elemento no estructural horizontal - piso, por el valor de la carga muerta del material del elemento.

Ecuación 1. Carga máxima aceptable sobre el inmueble

$$Carga\ muerta\ máxima = \left(\frac{0,0200 \frac{kN}{m^2}}{mm\ de\ espesor} \right) (mm\ de\ espesor\ del\ elemento\ no\ estructural\ horizontal)$$

3.1.2.2 Configuración de las capas del techo verde

Estos componentes dependen del tipo de vegetación a ser utilizada. Ver Figura 4, para observar las capas de un techo verde extensivo utilizado en el estudio Wang, Tian & Zhao, (2017), quienes utilizaron plantas *Sedum* para el techo verde.

- Capa de filtración

El techo verde cuenta con un geotextil NT 1800, (Ver Fotografía 4. Medio de Filtración), que previene que los sedimentos lavados entren al sistema de retención de la percolación.



Fotografía 4. Medio de Filtración

Tomado de: (García, et. al., 2017)

- Capa de drenaje

Como medio de drenaje poroso se cuenta con grava sílice de tamaño $\frac{3}{4}$ " , (Ver Fotografía 5), recomendada en la guía de techos verdes para Bogotá de la Secretaría Distrital de Ambiente, (2011).



Fotografía 5. Sistema de Drenaje

Fuente: Las autoras

- Sustrato

El sustrato comercial llamado ‘Planti Tierra’, que se encuentra en almacenes *Homecenter*, puede ser utilizado para cualquier especie. Este cuenta con un contenido de compostaje, cascarilla de arroz y tierra de alta calidad técnicamente balanceada, a base de materiales ricos en minerales para el fortalecimiento, con textura suave y húmeda.

- Espesor de las capas del techo verde

El espesor de las capas de los techos verdes depende de la especie vegetal empleada y la longitud de su sistema radicular. Para la determinación del espesor de las capas, se utiliza la configuración presente en el estudio de Wang, Tian & Zhao, (2017). En la Figura 5, se representa el espesor de las capas del techo verde del presente estudio:

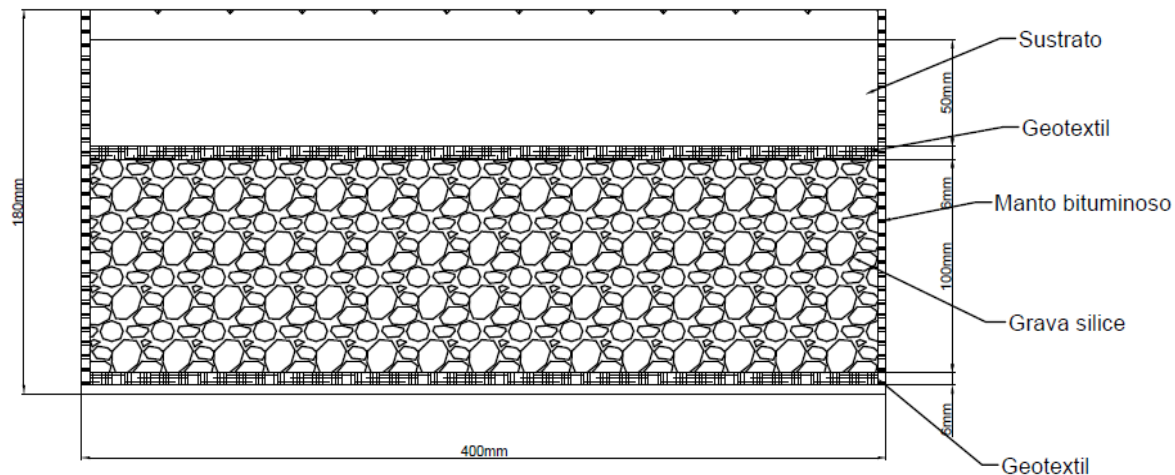


Figura 5. Espesor de las Capas del Techo Verde

Fuente: Las autoras

- Dimensiones de los contenedores de la vegetación (módulos)

A pesar de que otros estudios han utilizado bandejas de 50 x 70 centímetros como en el de Trujillo (2016), 55 x 70 cm en el de Vásquez (2013) y Ferrans (2016), este último recomienda que para mediciones de escorrentía, se utilicen módulos de menor tamaño. En el estudio de García, et al. (2017), se cuentan bandejas de 40 x 60 cm asequibles en el mercado e igualmente las seleccionadas para esta experimentación.

3.1.2.3 Perímetros, demarcación y accesos seguros

Para el montaje final se cuenta con siete módulos: Un módulo control sin cobertura vegetal, tres para cada especie de *Sedum* y tres de la combinación de estas especies. Esta distribución se puede observar en la Figura 6.



Figura 6. Distribución de los módulos

Fuente: Los autores

Cada uno de los módulos y baldes son debidamente marcados con las especificaciones necesarias, como se muestra en la Fotografía 6:



Fotografía 6. Marcación del Techo Verde

Fuente: Las autoras

Los dispositivos electrónicos que hacen parte del monitoreo están protegidos en cajas plásticas para prevenir su daño por el agua lluvia. Estos están listados en la sección: 3.3.1 Dispositivos electrónicos empleados.

3.1.2.4 Mantenimiento

El mantenimiento general se realiza con una frecuencia mínima de dos veces por semana, para remover elementos ajenos al techo verde, como la vegetación indeseada diferente a la vegetación empleada. Adicionalmente, se monitorea el color y la altura de la vegetación, el estado de conexiones eléctricas, el sistema de desagüe y el manto de impermeabilización.

3.1.3 Periodo de retorno para la zona de estudio

Para calcular qué volumen de precipitación se presentará cada 100 años de la zona de estudio esta se evalúa a través del estudio de series de valores extremos con la distribución de Gumbel, (Sánchez, 2013), teniendo en cuenta 41 datos históricos de precipitación obtenidos de la estación del Jardín Botánico. Para su determinación se organizan los datos de mayor a menor volumen y se hace uso de la Ecuación 2:

Ecuación 2. Distribución de Gumbel

$$x = -\ln(-\ln(F(x))) * (\alpha + \mu)$$

$F(x)$ es el valor que se obtiene de la Ecuación 3 en donde P es la probabilidad para el volumen de precipitación.

Ecuación 3. Probabilidad de que se presente un valor igual o menor que x

$$(F(x)) = 1 - P$$

La probabilidad se obtiene de la siguiente Ecuación 4:

Ecuación 4. Probabilidad

$$P = \frac{m}{n + 1}$$

En donde m es el número de orden de las precipitaciones y n es el número de datos, es decir 41.

Para el cálculo de μ , (Ver Ecuación 5), se determina la media de las precipitaciones y el valor yn se obtiene de las tablas de Gumbel.

Ecuación 5. Valor μ

$$\mu = x(\text{media}) - (yn * \alpha)$$

El valor α resulta de la siguiente Ecuación 6:

Ecuación 6. Valor α

$$\alpha = \frac{Sx}{Sn}$$

Donde Sx es la desviación estándar de las precipitaciones y Sn es un valor tabulado de las tablas de Gumbel. El periodo de retorno para obras de control de inundaciones puede variar entre los 50 y 100 años según Ponce, (2008), para el tiempo de retorno, (TR), de 100 años la precipitación máxima resulta de la Ecuación 2. Sin embargo, el valor F(x) se obtiene con la probabilidad de exceso a través de la Ecuación 7.

Ecuación 7. Probabilidad de exceso

$$(P(x)) = \frac{1}{TR}$$

3.2. Selección de la cobertura vegetal

La selección de las especies vegetales cuenta con una recopilación de varios documentos: La Evaluación de diferentes mezclas de sustratos alternativas para techos verdes sobre aspectos fisiológicos y de crecimiento en plantas de *Sedum rupestre* y *Taphanus sativus* L. de Galvis, (2016); la Evaluación Experimental de la Capacidad de Retención y Efectos en la Calidad del Agua de Escorrentía Pluvial de Techos Verdes Modulares de Ferrans, (2016); la Evaluación de los efectos de tipos de sustrato y vegetación en el comportamiento de techos verdes y azules de Vásquez (2013); y las experiencias durante el Estudio de la capacidad de atenuación de la escorrentía superficial, a través de la implementación de 2 techos verdes en el barrio Nueva Marsella, localidad de Kennedy, de García, et al. (2017), Ver Fotografía 7. Toda

esta información es revisada para seleccionar las especies vegetales, que son evaluadas mediante una matriz de valoración para especies vegetales de la Secretaría Distrital de Ambiente (2015) en la Guía práctica de Techos Verdes y Jardines Verticales.



Fotografía 7. Experiencia Techo Verde, Localidad de Kennedy

Fuente: (García, et. al., 2017)

3.2.1 Matriz de valoración

La matriz de valoración de especies botánicas vivas que se encuentra en la Guía práctica de Techos Verdes y Jardines Verticales, (Secretaria Distrital de Ambiente, 2015), contiene elementos para la selección de especies vegetales. Esta matriz genera criterios para evitar la subjetividad al momento de la selección de especies, contemplando diferentes características de las especies disponibles mediante un valor y peso para cada elemento. Estas características se dividen en 13 categorías, (Ver Tabla 2).

Tabla 2 Matriz de Selección de Especies Vegetales

Categoría	Variable	Descripción
<i>Origen</i>	Nativa	Especie que se encuentra dentro de su área de distribución natural.
	Exótica sin potencial invasor	Especie que se halla fuera de su área normal de distribución, pero no presenta riesgo para otras formas de vida locales.
	Exótica con potencial invasor	Especie no nativa que está en clara expansión y cuya presencia y distribución tiene impacto negativo y amenaza los

			ecosistemas, hábitat o especies.
<i>Habito</i>		Hierba	Planta que no presenta tejidos leñosos persistentes
		Trepadora	Planta que se encarama a un soporte con la ayuda de ganchos, ventosas, espinas o zarcillos.
		Epífita	Planta que crece sobre otra sin obtener de ella su alimento.
		Arbusto	Planta perenne (que persiste durante más de dos años y florece por lo general anualmente) leñosa con ramas laterales bien desarrolladas. Alcanza menos de 10 m de altura.
		Árbol	Planta perenne grande con un único tronco leñoso y ramificado.
<i>Altura</i>		Corresponde a la altura de la planta	
<i>Propagación</i>		Estacas	A partir de la siembra de una pequeña porción del tallo de una planta.
		Esquejes	Tallos que se preparan en recipientes con agua o tierra hasta que forman raíces luego se trasplantan.
		Trasplante del medio natural	Método mediante el cual se colectan las plántulas en el ecosistema natural.
		Cultivo de Tejidos	Cultivo realizado en medios libres de contaminación por microorganismos.

<i>Rango altitudinal</i>		Corresponde a la altura en metros sobre el nivel del mar a la cual la planta se desarrolla.
<i>Clima</i>		Corresponde a aspectos sobre la adaptabilidad de la planta a condiciones de temperatura, humedad y la resistencia a cambios extremos.
<i>Agua</i>		Corresponde a las necesidades de agua de la planta.
<i>Requerimientos lumínicos</i>		Corresponde a las adaptaciones de la planta a la luz.
<i>Viento</i>		Se refiere a la capacidad de la planta de tolerar el viento.
<i>Suelo</i>		Se refiere a las condiciones del sustrato que necesita la planta
<i>Aplicaciones en jardinería</i>		Una especie que ya se emplee en jardinería.
<i>Mantenimientos</i>		Involucra la periodicidad con que debe prestarse atención
<i>Valor agregado</i>		Se refiere a otras características secundarias que pueden ser un factor adicional en el proyecto.

Fuente: Adaptado de (Secretaría Distrital de Ambiente, 2015)

Cada una de las categorías cuenta con una escala de valoración para cada variable que está dada por la metodología de Bolaños y Moscoso, (2011). Su escala se comprende de 0 a 3, siendo 0 = No apta, 1 = Menos apta, 2 = Apta y 3 = Más apta. En la Tabla 3 se puede observar la escala de valoración para cada una de las categorías. Luego de darle valor a cada uno de los criterios por cada especie vegetal objeto de evaluación, se seleccionan las 3 especies vegetales con mayor puntaje para la implementación del techo verde.

Tabla 3 Escala de Valoración para la Selección de Especies Vegetales

Categoría	Variables	Escala de Valoración
Origen	Nativa	3
	Exótica sin potencial invasor	2
	Exótica con potencial invasor	0
Habito (tipo de crecimiento de la planta)	Hierba	3
	Trepadora	3
	Epífita	3
	Arbusto	2
	Árbol de bajo porte	1
	Árbol	0
Altura (altura de la planta)	0 – 1,0 m	3
	1,1 – 2,0 m	2
	2,1 – 3,0 m	1
	Más de 3,1 m	0

Categoría	Variables	Escala de Valoración
Propagación	Semillas	3
	Estacas	2
	Esquejes	1
	Trasplante del medio natural	0
	Por cultivo de tejidos y otras técnicas	0
Rango Altitudinal	Se encuentra en el rango altitudinal	3
	Se encuentra fuera del rango pero puede ser utilizada	2
	Se encuentra fuera del rango pero no puede ser utilizada	0
Clima	Presenta adaptabilidad a diversos climas, distribución completa	3
	Presenta un requerimiento climática específico	3
	Resistencias a heladas y/o otros factores climáticos extremos	3
Agua	Alto consumo de agua	1
	Bajo consumo de agua	3
	Resistencia a sequías	3
Requerimientos lumínicos	Ninguna preferencia	3
	Plena exposición	2
	Sombra	2
Viento	Preferencia por vientos de baja intensidad	2
	Resistencia a lugares con vientos fuertes y/o constante	3
Suelo	Suelos no profundos	3
	Suelos profundos	0
	Dependiente de alta calidad del suelo y/o sustrato	1
Aplicaciones en jardinería	Si	3
	No	0
Mantenimiento	Baja frecuencia (poda, fertilización, sustrato, fumigación)	3
	Alta frecuencia (poda, fertilización, sustrato, fumigación)	1
	Requiere sistema de riego	1
	No requiere sistema de riego	3
	Bajo costo	3
	Alto costo	1
Valor agregado	Aislamiento térmico	3
	Aislamiento acústico	3
	Medicinal	3
	Alimento humano	3
	Atrayente de avifauna	3
	Estética	3

Fuente: Adaptado de (Secretaría de ambiente, 2015)

3.2.2. Especies vegetales evaluadas

Para la determinación de las especies vegetales evaluadas con la matriz de selección se recopiló información de otras investigaciones, de esta manera se elige la especie vegetal de mejor desempeño durante el estudio de García et. al., (2017). Adicionalmente, se seleccionan 3 especies de *Sedum* que han sido utilizadas durante las investigaciones de Galvis (2013), Ferrans (2016) y Vásquez (2013), teniendo en cuenta la disponibilidad de estas especies vegetales en los viveros de la ciudad Bogotá.

Las especies vegetales objeto de evaluación para la presente investigación son: *Sedum Rubrotinctum*, *Sedum compressum*, *Sedum rubrotinctum*, *Sedum Palmeri* y *Sedum Angelina*. En la Tabla 3, se puede observar las características para cada especie vegetal.

Tabla 2 Especies vegetales evaluadas

	Sedum Rubrotinctum	Sedum Confusum	Sedum Compressum	Sedum Angelina	Sedum Palmeri
<i>Nativa</i>	México	México	México	Europa	México
<i>Tipo de planta</i>	Suculenta	Suculenta	Suculenta	Suculenta	Suculenta
<i>Hábito</i>	Arrastre	Arrastre	Arrastre	Arrastre	Arrastre
<i>Tasa de crecimiento</i>	Lento	Lento	Lento	Rápido	Medio
<i>Altura (cm)</i>	15-20	15-20	15	10-15	10-20
<i>Anchura (cm)</i>	20-28	25-30	25-30	25-30	10-25
<i>Necesidad de agua</i>	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
<i>Follaje de color</i>	Verde y rojo	Verde	Verde	Oro Verde	Verde y Roja
<i>Color de flor</i>	Rosa	Amarilla	Amarilla	Amarilla	Amarilla
<i>Adaptaciones del suelo</i>	Drenante	Drenante	Drenante	Drenante	Drenante

	Sedum Rubrotinctum	Sedum Confusum	Sedum Compressum	Sedum Angelina	Sedum Palmeri
<i>Adaptaciones de exposición</i>	Sol de mañana, Calor, Luz solar filtrada o indirecta, Sequía, Sol todo el día	Sol de mañana, Calor, Luz solar filtrada o indirecta, Sequía, Sol todo el día	Luz solar filtrada o indirecta, Sequía y Sol todo el día	Luz solar filtrada o indirecta, Sequía y Sol todo el día	Luz solar filtrada o indirecta, Sequía y Sol todo el día
<i>Función</i>	Jardines de roca, Espacios residenciales, Jardineras elevadas, Planta de acentos de follaje, Planta de contenedores, fronteras.	Jardines de roca, Espacios residenciales, Jardineras elevadas, Planta de acentos de follaje, Planta de contenedores, fronteras.	Jardines de roca y materas colgantes.	Contenedor, bordes, cubierta vegetal, cesta colgante, borde mixto, jardín de rocas / pared	Contenedor, bordes, cubierta vegetal, cesta colgante, borde mixto, jardín de rocas / pared

Fuente: Adaptado de (Planner Inland Valley Garden , 2018)

A cada especie vegetal le corresponde una valoración total luego de ser evaluadas con la matriz, valor que corresponde a la suma de cada una de las categorías y variables que cumpla.

3.2.3 Sistema de plantación

El sistema de plantación se establece por medio del trasplante de plántulas. Para trasplantar las especies vegetales, se realizan 8 orificios por módulo con un diámetro y profundidad acordes con las raíces de las plantas, fijadas con el sustrato extraído.

Para determinar la densidad de las especies vegetales en cada módulo, se tiene en cuenta el diámetro de cada especie (Ver Tabla 3). El diámetro máximo para las especies vegetales seleccionadas corresponde a 0,30 m, más un margen de 0,04 cm debido a que la especie *Sedum* se reproduce mediante esquejes. Para un área de 0,40 x 0,60 m, se tiene una densidad total de 8 especies vegetales por módulo.

3.3 Monitoreo

La obtención de los datos de percolación y humedad del suelo del techo verde de cada uno de los siete módulos se realiza a través de un microcontrolador y dos tipos de sensores. La autonomía del mi controlador tiene la capacidad de registrar datos cada segundo.

Los datos de precipitación, humedad del aire, temperatura del aire y radiación solar son adquiridos de la estación Centro de Alto Rendimiento de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá de la Secretaría Distrital de Ambiente con una resolución temporal horaria.

3.3.1 Dispositivos electrónicos empleados

Todos los dispositivos electrónicos empleados en este estudio son compatibles con Arduino, el sistema más sencillo para operar este tipo de mediciones comparado con otros como Rasperry, una computadora de bajo costo del tamaño de una tarjeta de crédito.

En esta investigación se utiliza una placa de Arduino Due, el microcontrolador que recibe la información de cada uno de los dispositivos electrónicos empleados, un módulo de reloj RTC Ds 3231, un módulo micro SD, 7 sensores ultrasónicos HC-SR04, 7 sensores capacitivos de humedad de suelos SEN0193, una fuente de alimentación, un regulador de voltaje tipo *step down* y 2 convertidores bidireccionales Tx0108e. A continuación, se hace una breve descripción de cada uno de los dispositivos electrónicos disponibles en el techo verde y los diagramas de conexión.

3.3.1.1 Arduino Due

Los criterios de selección entre las placas de Arduino se enfocan inicialmente en la oferta de pines existente debido a la cantidad de sensores y la naturaleza de los mismos. El espacio de almacenamiento de las placas de Arduino es otro factor que influye en esta decisión, ya que este debe permitir el almacenamiento del código empleado para que todos los dispositivos electrónicos funcionen con autonomía. La placa de Arduino Due que se muestra en la Figura 7, se encuentra alimentada por un cargador de 12v.

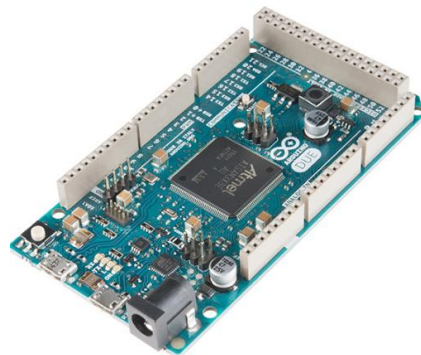


Figura 7. Arduino Due

Tomado de: <https://www.sigmaelectronica.net>

3.3.1.2 Conversor bidireccional 'Tx0108e'

Este convertidor, (Figura 8), se encarga de convertir las señales del sensor ultrasónico que maneja un voltaje de 5v, para proteger la placa del Arduino Due, que funciona con un voltaje de 3,3v.



Figura 8. Conversor Nivel Lógico 8 Canales TxS0108e

Tomado de: <https://www.mactronica.com.co/>

En la Figura 9, se muestra la conexión de este dispositivo que para este caso va alimentado con el voltaje más bajo (3,3v) y el voltaje más alto (5,5v).

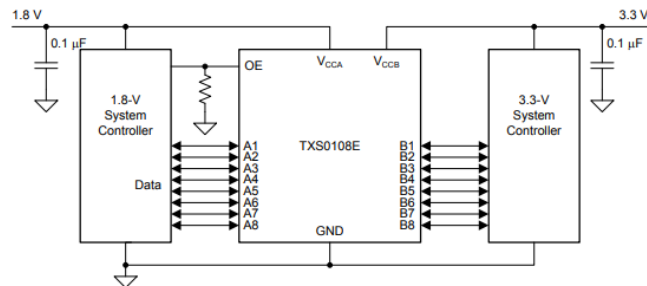


Figura 9. Conexión del Conversor de Nivel a los Sensores Ultrasónicos

Tomado de: <http://www.ti.com/>

3.3.1.3 Módulo de reloj RTC DS 3231

Este módulo, (Figura 10), es necesario para registrar, fecha, día de la semana y hora en que los datos son tomados. El RTC DS 3231, incorpora un oscilador interno para no afectar la precisión del reloj.



Figura 10. RTC DS 3231

Tomado de: <https://www.mactronica.com.co/>

Este dispositivo, es alimentado por 3v y sus pines se encuentran conectados al Arduino Due, como se ejemplifica en la Figura 11.

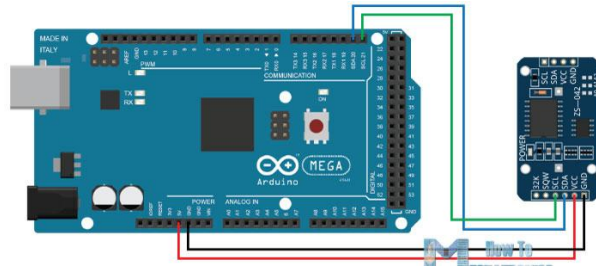


Figura 11. Conexión entre Módulo RTC Ds 3231 y Arduino

Fuente: <https://howtomechatronics.com>

3.3.1.4 Módulo micro SD

El módulo micro SD, (Figura 12), permite almacenar la información de los sensores en una tarjeta micro SD.

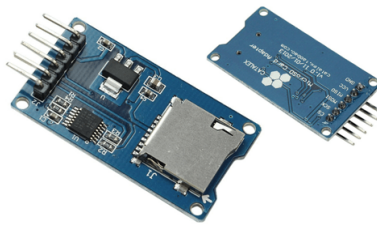


Figura 12. Módulo MicroSD

Fuente: <https://www.sigmaelectronica.net>

La conexión entre este módulo y el Arduino Due, se hace al SPI de la placa, como se muestra en la Figura 13:

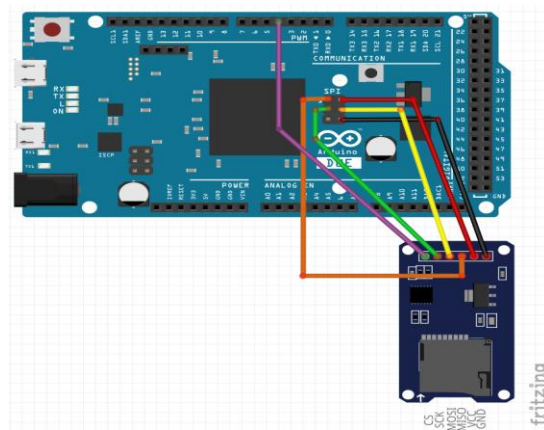


Figura 13. Conexión entre Módulo Micro SD y Arduino Due

Tomado de: <https://hackaday.io/>

3.3.1.5 Sensor ultrasónico HC-SR04

Diferentes características de varios sensores que permitan conocer el volumen de percolación de cada recipiente del techo verde son evaluadas. Esta función la realiza la válvula solenoide y de flujo de agua. Sin embargo, tanto la válvula solenoide como de flujo de agua tienen una resolución de 1 a 30 LPM y dado que el flujo de percolación no es constante, caudales menores a 1LPM no se verán reflejados en la medición de volumen. Otro tipo de sensores como los digitales de peso son capaces de tomar mediciones hasta alrededor de 1 kg, como los de DFRobot, (2018). No obstante, la complejidad de conexión se incrementa y se disminuye significativamente la disponibilidad de pines de la placa de Arduino.

Gracias a su bajo costo y accesibilidad, se selecciona el sensor ultrasónico HC-SR04. Este es un sensor de distancias por ultrasonidos que es capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. Este sensor, (ver Figura 14), según la página *web* de Electronilab, se destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio.



Figura 14. Sensor Ultrasónico HC-SR04

Tomado de: <https://www.mactronica.com.co/>

La conexión entre el sensor ultrasónico de distancias y una placa de Arduino, se muestra en la Figura 15, cabe resaltar que este dispositivo es alimentado por 5v pero las señales *trigger* y *echo* son convertidas a 3v para ser conectadas a la placa de Arduino Due (Ver 3.3.1.2 Conversor bidireccional 'Txs0108e').

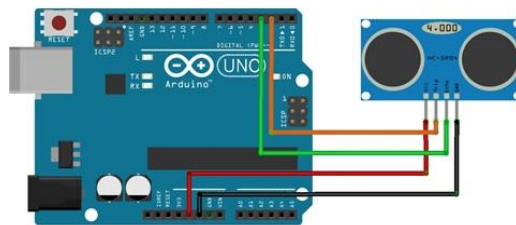


Figura 15. Conexión entre Sensor Ultrasónico HC-SR04 y Arduino

Tomado de: <https://naylampmechatronics.com/>

3.3.1.6 Sensor capacitivo de humedad de suelos SEN0193

La mayoría de los sensores de humedad son afectados principalmente por la corrosión, una vez que la corrosión retira el material de protección de estos sensores, la lectura deja de ser confiable. El sensor capacitivo para humedad de suelos SEN0193, (ver Figura 16), de

DFRobot, (2016), está hecho de un material anticorrosivo lo cual garantiza un largo periodo de vida útil.



Figura 16. Sensor Capacitivo de Humedad de Suelos SEN0193

Tomado de: <https://www.sigmaelectronica.net>

Este dispositivo se conecta a la placa de Arduino tal y como se observa en la Figura 17.

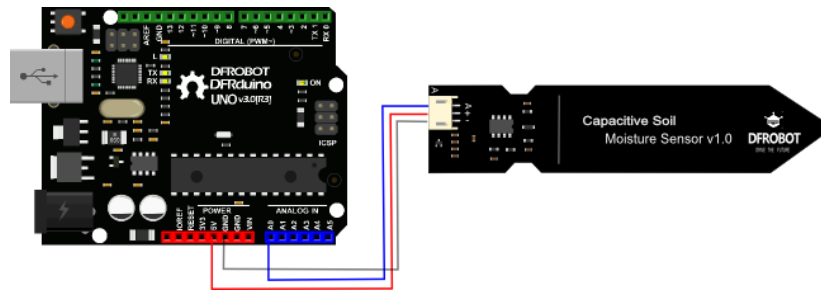


Figura 17. Conexión entre el Sensor Capacitivo de Humedad de Suelos y la placa de Arduino

Tomado de: <http://www.efix.com.ar/>

3.3.1.7 Fuente de alimentación

Las fuentes conmutadas son capaces de estabilizar el voltaje, en comparación con otras fuentes de alimentación. La fuente conmutada de 5v, (Ver Figura 18), alimenta todos los sensores y el cargador de la placa de Arduino.



Figura 18. Fuente Conmutada de 5v

Tomado de: <https://www.sigmaelectronica.net>

Para obtener el voltaje de 3,3V, la fuente regulada tipo *step down*, (Ver Figura 19), es capaz de variar los voltajes. Para esto, se alimenta el módulo con los 5v de la fuente conmutada y se gradúa hasta llegar al voltaje deseado.



Figura 19. Tarjeta XL4005

Tomado de: <https://www.sigmaelectronica.net>

3.3.1.8 Protección de los dispositivos electrónicos

Las cajas plásticas selladas protegen los dispositivos electrónicos de la lluvia, como se observa en la Figura 20.



Figura 20. Dispositivos Electrónicos Protegidos

Fuente: Las autores

3.3.1.9 Programación de los sensores

La programación de los sensores se realiza mediante el software Arduino IDE versión 1.8.7. *Software* gratuito y accesible desde la página de Arduino. Para ver el código de esta investigación.

3.3.2 Balance hídrico del techo verde

En el documento de Pérez Murillo, (2015), se encuentra la ecuación simplificada de balance hídrico para un sistema modular de techo verde extensivo, (Ver Ecuación 8):

Ecuación 8. Balance hídrico para sistema modular de techo verde extensivo

$$\Delta S = V_{prec} - V_{Inter} - V_{ETR} - V_{Esc}$$

Donde ΔS es el cambio de almacenamiento de agua en el sistema durante un intervalo de tiempo Δt como consecuencia de la diferencia entre: un volumen de precipitación efectiva infiltrado (el cual es igual al volumen de precipitación V_{prec} menos el volumen de interceptación

V_{Inter} , un volumen de escorrentía generado (V_{ETR}), y un volumen evapotranspirado en función del agua disponible para las plantas (V_{ETR}).

3.3.2.1 Volumen de precipitación y escorrentía generado

- Volumen de precipitación

El uso de pluviómetros para cada uno de los módulos incrementa los costos de esta experimentación siendo más factible la adquisición de estos datos a través de una estación climatológica. La estación del Jardín Botánico de la cual se obtienen los datos climatológicos para la zona de estudio se encuentra inhabilitada, así que se evalúa otra estación cercana.

Las estaciones más cercanas a la zona de estudio son: La estación de Las Ferias ubicada en la Av. Calle 89 N° 69Q-50 y la estación del Centro de Alto Rendimiento ubicada en la Cl. 63 N° 47-06. La estación Las Ferias es la más próxima a la zona de estudio pero no cuenta con los datos de radiación solar, (Ver Tabla 4), que son importantes para el cálculo de la evapotranspiración. Por lo anterior, los datos climatológicos para el monitoreo de este estudio se obtienen de la estación del Centro de Alto Rendimiento, (Ver plano 3),.

Tabla 3 Variables Meteorológicas de las Estaciones Climatológicas más Cercanas a la zona de Estudio

Estación	Variables Meteorológicas						
	V V	D V	T(°C)	Prcp	R.S	H R	Ps. Atm
Las Ferias	X	X	X	X		X	X
Centro de Alto Rendimiento	X	X	X	X	X	X	X

V V= Velocidad del Viento ,D V= Dirección del Viento, T (°C)= Temperatura (Celsius), Prcp= Precipitación, R.S= Radiación Solar, H R= Humedad Relativa, Ps. Atm= Presión Atmosférica

Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013)

Para acceder a los datos sobre el volumen de precipitación horaria, se ingresa a la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la Secretaria Distrital de Ambiente, en la página *web* de la RMCAB: <http://201.245.192.252:81/>. Al acceder a esta plataforma, se ingresa a Reportes, Reporte por estación o a través de Mapas, Mapa Sig y finalmente elegir la estación del Centro de Alto Rendimiento y los parámetros a ser filtrados.

- Volumen de escorrentía generado

El volumen de escorrentía generado por cada uno de los módulos del techo verde es entregado por el microcontrolador Arduino Due. En circunstancias en las cuales la altura del volumen de escorrentía en cada uno de los baldes sea menor a la resolución del sensor de distancia, (<0,03m), es necesario utilizar como método de respaldo probetas para obtener una medición confiable.

3.3.2.2 Volumen evapotranspirado en función del agua disponible para las plantas

La evapotranspiración es un proceso combinado que comprende la evaporación de todos los tipos de superficies (vegetal – suelo – lámina de agua) y la transpiración de las

plantas. La investigación realizada por Gómez Blanco & Cadena, (2011), establece que, para la gran mayoría de las zonas del país, el método que más se aproxima es el de Penman-Monteith con la metodología propuesta por la FAO. De igual manera, en el estudio de Ferrans Ramírez, (2016), se concluye que este modelo es una herramienta valiosa para usar como referencia en la estimación de tasas de evaporación potencial de techo verde extensivo plantado con variedad de plantas de *Sedum*.

Con los datos de la estación climatológica del Centro de Alto Rendimiento, se calcula a través de la Ecuación 9 Ecuación 3. Modificación de la ecuación de Penman-Monteith (FAO), evapotranspiración basada en un cultivo de referencia.

Ecuación 9. Modificación de la ecuación de Penman-Monteith (FAO)

$$ET_0(mm) = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \lambda(1 + 0,34u_2)}$$

Donde R_n es la radiación neta, G el flujo de calor, $(e_s - e_a)$ el déficit de presión del vapor del aire, ρ_a la densidad del aire, C_p el calor específico del aire seco, Δ la pendiente de la curva de presión de saturación, λ constante sicométrica, r_a la resistencia aerodinámica de la superficie para el vapor de agua, y r_s la resistencia superficial total.

- Extracción de los datos climatológicos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia

Los datos de temperatura, velocidad del viento y humedad relativa del aire son adquiridos de la misma manera que el volumen de precipitación, (Ver 3.3.2.1 Volumen de precipitación y escorrentía generado), a través de la página web de la RMCAB. Estos datos se filtran de manera mensual, para octubre y noviembre del año 2018, con una frecuencia de tiempo horaria, exportados en formato .xml.

- Evapotranspiración real (ETr)

Según Gómez, Blanco & Cadena, (2017), la evapotranspiración real (ETr): Es la cantidad de agua perdida por el complejo planta-suelo en las condiciones meteorológicas, edafológicas y biológicas existentes. Este valor, es el resultado de la multiplicación de la ET_0 y el K_c , que es el coeficiente de cultivo de la especie vegetal, (Ver Ecuación 10).

Ecuación 10. Evapotranspiración real

$$ETr = ET_0 * K_c$$

En la investigación de Pérez Murillo, (2015), se deduce que el valor de K_c de las plantas de *Sedum* promedio oscila entre 0,58 y 0,62 a partir la ecuación de Penman Monteith como modelo de referencia.

3.3.2.1 Volumen de interceptación

Al tener los datos de volumen de precipitación, el volumen evapotranspirado por la planta y el volumen de escorrentía, el volumen de interceptación es calculado con la Ecuación 11:

Ecuación 11. Volumen de interceptación

$$V_{Inter} = V_{Prec} - V_{ETR} - V_{Esc}$$

3.3.3 Contenido de agua en la planta

La metodología de Pérez, Rojas & Malgajero, (2010), evalúa el contenido hídrico relativo, un indicador del balance hídrico de la planta que expresa la cantidad absoluta de agua que necesita la planta para alcanzar la saturación total. La Ecuación 12 y la Ecuación 13 evalúan la capacidad de la especie vegetal para sobrevivir el estrés hídrico. En donde mf es la masa fresca, ms la masa seca y mt la masa a plena turgencia que es cuando el tejido vegetal se encuentra en saturación total.

Ecuación 12. Contenido hídrico

$$CH = \left(\frac{mf - ms}{ms} \right) * 100$$

El cálculo del déficit de saturación hídrica es el resultado del inverso del contenido hídrico relativo.

Ecuación 13. Contenido hídrico relativo

$$CHR = \left(\frac{mf - ms}{mt - ms} \right) * 100$$

En la Figura 21, se muestra cada uno de los procesos para obtener el contenido hídrico en la planta. En la primera columna de la Figura 21, se observan las especies y su masa fresca. La segunda columna, representa los tejidos vegetales en estado de turgencia y la tercera columna muestra la masa seca de los tejidos vegetales, para C y B.



Figura 21. Proceso para Obtener el Contenido de agua en la Planta

Fuente: Las autoras

3.3.4 Evaluación de la eficiencia de retención de la precipitación

La evaluación de la eficiencia de la retención de la escorrentía para cada recipiente del techo verde, depende del volumen de precipitación y el volumen de percolación, con estos datos, el porcentaje de retención de agua lluvia se calcula a través de la Ecuación 14.

Ecuación 14. Porcentaje de retención de agua lluvia

$$\%Retención = \left(\frac{\text{Volumen de lluvia} - \text{Volumen de percolación}}{\text{Volumen de lluvia}} \right) * 100$$

Fuente: (Vázquez, 2013)

3.3.4.1 Evaluación de los factores que afectan la capacidad de retención del agua lluvia

La relación entre las variables climatológicas: precipitación, temperatura del aire, humedad del aire, humedad del suelo, radiación solar y velocidad del viento, con la eficiencia de la retención del agua lluvia, se obtiene a partir del análisis de correlación en Excel, con dos rangos de celdas definidos por los argumentos matriz1 y matriz2 proporcionando el coeficiente de correlación. Según Laguna, (2010), cuando el resultado es 1, la correlación es perfecta; una correlación imperfecta se ve cuando el coeficiente es menor a 1, sea en sentido positivo o negativo; una correlación nula se presenta cuando el coeficiente de correlación es 0.

Para la interpretación de los resultados de monitoreo se utiliza el método estadístico ANOVA, (*Analysis of Variance*), la cual permite un análisis factorial completo. Para este estudio

se evalúan los resultados de la capacidad de retención de escorrentía de los módulos vegetados. Los datos que hacen parte de este análisis se encuentran en los anexos D, E, F, G, H, J, y K.

El uso del método paramétrico estadístico ANOVA factorial tiene en cuenta solamente una variable fija la cual es el porcentaje de eficiencia de retención de la precipitación. Para esto se evalúa el comportamiento de cada especie vegetal tanto unitariamente como con su respectiva combinación. Seguido a esto se determina la hipótesis nula y alterna que se plantea con la pregunta que se pretende responder con ANOVA. (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Pregunta ANOVA

¿Qué especie vegetal presentan mejor eficiencia cuando está combinada?	
Hipótesis Nula	No existen diferencias significativas de la eficiencia del módulo en presencia de otra especie vegetal con una confiabilidad del 95%
Hipótesis Alterna	Sí existen diferencias significativas de la eficiencia del módulo en presencia de otra especie vegetal con una confiabilidad del 95%

A través de Excel se obtienen los resultados del ANOVA de un solo factor para cada módulo vegetado. Para interpretar los resultados del ANOVA se observa la suma de los cuadrados tanto entre grupo como dentro de los grupos, los grados de libertad que corresponde al número de valores que se pueden llegar a tener arbitrariamente, el promedio de los cuadrados dentro de los grupos que corresponde al cuadrado medio del error el cual hace referencia a un valor esperado de la pérdida del error que siempre representado al cuadrado. Para poder determinar si la hipótesis que se plantea es nula o alterna se tienen en cuenta los valores estadísticos de F y valor crítico para F en donde el valor de F debe ser mayor que el valor crítico para F y la probabilidad debe ser menos que 0,05 para tener un rango de confiabilidad.

Si $F > F_{crítica}$ se rechaza la hipótesis nula. Esto significa que si esto sucede los promedios de todos los módulos no son iguales y al menos uno de los promedios es diferente.

3.4.4.3 Análisis de la capacidad de retención de la escorrentía con t-Test agrupado

La prueba de t-Test agrupado se obtiene del análisis de datos de Excel. Esta prueba comprueba si las medias de los campos continuos son estadísticamente diferentes y poder afirmar si hay o no significancia entre los grupos evaluados. Para esta prueba tenemos una confiabilidad de 0,05, es decir que si la probabilidad resultante del t-Test es menor a 0,05 se afirma que la diferencia entre los grupos evaluados es significativa.

4. Resultados y discusión

Los resultados son presentados de acuerdo con los objetivos de estudio. En la primera sección se encuentran los resultados del diseño y construcción del techo verde, la segunda sección expone los resultados de la valoración de las especies vegetales, y en la tercera sección los resultados del monitoreo: el balance hídrico del techo verde, el contenido de agua en la planta, el porcentaje de eficiencia de retención de la precipitación, los factores que afectan la capacidad de retención del agua lluvia, los resultados del análisis de varianza de la capacidad de

retención de la escorrentía para los módulos del techo verde y los resultados del análisis de retención de la escorrentía según el t-Test.

4.1 Resultados del diseño y construcción del techo verde

Este apartado contiene el valor de la carga mínima aceptable sobre el inmueble y la carga muerta ejercida por el techo verde, demostrando que la carga muerta ejercida por el techo verde no supera la carga mínima aceptable sobre el inmueble.

Para simplificar los resultados y facilitar su lectura, cada especie vegetal se encuentra representada por una letra clave: A, B o C (Ver Tabla 5).

Tabla 5 Nombres claves para las Especies Vegetales

Espece vegetal	Nombre clave
<i>Sedum Rubrotinctum</i>	A
<i>Sedum Confusum</i>	B
<i>Sedum Compressum</i>	C

Fuente: Las autoras

enya que se6

4.1.2.1 Carga máxima aceptable sobre el inmueble

Para calcular la carga máxima aceptable sobre el inmueble, se conoce que la vivienda presenta un piso de concreto de 200 mm de espesor. Con la Ecuación 15, se obtiene el valor aceptable por el inmueble que no debe ser superado por la carga muerta ejercida por el techo verde.

Ecuación 15. Carga mínima aceptable sobre el inmueble en el que se encuentra el techo verde

$$Carga\ muerta\ maxima = \left(\frac{0,0200 \frac{kN}{m^2}}{mm\ de\ espesor} \right) (200\ mm\ de\ espesor) = 4 \frac{kN}{m^2}$$

4.1.2.2 Carga muerta ejercida por el techo verde

Las cargas, son definidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 1997, como fuerzas que actúan sobre el sistema estructural y provienen del peso de todos los elementos permanentes en la construcción. Para determinar la carga muerta ejercida por el techo verde, se determinó el peso de la canasta control y una de las canastas de mayor peso, (Ver Fotografía 8). Es necesario recalcar que estas canastas no se encontraban en estado saturado (Humedad del suelo menor al 5%), por lo que el peso no representa la carga muerta máxima esperada por el techo verde.



Fotografía 8. Pesado de los componentes del techo verde

Fuente: Las autoras

Al finalizar el pesado de los componentes del techo verde se obtiene un peso de la canasta control de 29,47 Kg y de la cobertura vegetal de 33,55 Kg. Según Structx, (2019), 0,20 es el valor promedio de la porosidad de la grava y la tierra. La expresión de la 16 y la Ecuación 11 reflejan la masa de agua de los módulos según esta porosidad.171819 207

Ecuación 10. Masa de agua del módulo control

$$\text{Masa de agua del módulo control} = (0,20) * (29,47 \text{ kg}) = 5,894 \text{ kg}$$

Ecuación 11. Masa de agua del módulo con cobertura vegetal

$$\text{Masa de agua del módulo con cobertura vegetal} = (0,20) * (33,55) = 6,71 \text{ kg}$$

Para lograr determinar la presión ejercida y la carga muerta se calcularon las densidades de los elementos previamente pesados y de las masas de agua de cada módulo, a través de la Ecuación 12, la Ecuación 13, la Ecuación 14 y la Ecuación 15:

Ecuación 12. Densidad de agua del módulo control

$$\rho_{\text{agua módulo control}} = \frac{5,894 \text{ kg}}{(60\text{cm} * 40\text{cm} * 18\text{cm}) * \left(\frac{1\text{m}}{100\text{cm}}\right)^3} = 136,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ecuación 13. Densidad de agua del módulo con cobertura vegetal

$$\rho_{\text{agua módulo cob.veg}} = \frac{6,71 \text{ kg}}{(60\text{cm} * 40\text{cm} * 18\text{cm}) * \left(\frac{1\text{m}}{100\text{cm}}\right)^3} = 155,32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ecuación 14. Densidad del módulo control

$$\rho_{\text{módulo control}} = \frac{29,47 \text{ kg}}{(60\text{cm} * 40\text{cm} * 18\text{cm}) * \left(\frac{1\text{m}}{100\text{cm}}\right)^3} = 682,34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ecuación 15. Densidad del módulo con cobertura vegetal

$$\rho_{\text{módulo con plantas}} = \frac{33,55 \text{ kg}}{(60\text{cm} * 40\text{cm} * 18\text{cm}) * \left(\frac{1\text{m}}{100\text{cm}}\right)^3} = 776,62 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Seguidamente, se calcula el peso específico tanto de los módulos como de su contenido de agua. El peso específico se encuentra dado por la multiplicación de la gravedad y la densidad del elemento: Ecuación 16, Ecuación 17, Ecuación 18 y Ecuación 19:

Ecuación 16. Peso específico del módulo control

$$\gamma_{\text{control}} = \left(682,34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 6689,932 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Ecuación 17. Peso específico de la canasta con cobertura vegetal

$$\gamma_{\text{cob.veg}} = \left(776,62 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 7610,876 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Ecuación 18. Peso específico del contenido de agua del módulo control

$$\gamma_{\text{agua control}} = \left(136,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 1337,014 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Ecuación 19. Peso específico del contenido de agua del módulo con cobertura vegetal

$$\gamma_{\text{agua cob.veg}} = \left(155,32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 1522,136 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Para calcular la fuerza ejercida por los elementos en estado saturado, (Ver Ecuación 20 y Ecuación 21), se tiene en cuenta las expresiones de la Ecuación 16, la Ecuación 17, la Ecuación 18 y la Ecuación 19. Esta fuerza es obtenida por la multiplicación del peso específico y el volumen de los contenedores de la vegetación (3.1.2.2 Configuración de las capas del techo verde)

Ecuación 20. Fuerza ejercida por el módulo control

$$F_{\text{control}} = \left(6689,932 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} + 1337,014 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right) \left(\left((60\text{cm})(40\text{cm})(18\text{cm})\right) \left(\frac{1\text{m}}{100\text{cm}}\right)^3\right) = 346,764 \text{ N}$$

La fuerza ejercida por la canasta con cobertura vegetal en estado saturado es la siguiente:

Ecuación 21. Fuerza ejercida por el módulo con cobertura vegetal

$$F_{\text{cob.veg}} = \left(7610,876 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} + 1522,136 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right) \left(\left((60\text{cm})(40\text{cm})(18\text{cm})\right) \left(\frac{1\text{m}}{100\text{cm}}\right)^3\right) = 394,55 \text{ N}$$

Para determinar la fuerza resultante ejercida por el techo verde, (Ver Ecuación 22), se suma la fuerza resultante de del módulo control y de los 6 módulos con cobertura vegetal, en estado saturado.

Ecuación 22. Fuerza ejercida por el techo verde

$$F_{Techo\ verde} = 346,764\ N + ((394,55\ N)(6\ módulos)) = 2714,064\ N$$

La presión ejercida por este techo verde, (Ver Ecuación 23), depende del área en la cual se encuentra instalado: 3,20 x 0,70 m. La presión ejercida de este sobre el inmueble es de:

Ecuación 23. Presión ejercida por el techo verde sobre el inmueble

$$P = \frac{2714,064\ N}{(3,20m)(0,70m)} = 1211,636\ \frac{N}{m^2} = 1,211\ \frac{kN}{m^2} \mathbf{8}$$

estecomo Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible

4.2 Resultados de la valoración de las especies vegetales

A partir de la revisión bibliográfica, las especies vegetales son evaluadas de acuerdo con la matriz de valoración, (Ver Tabla). En la Tabla 9 Tabla 6 se observan los resultados de la valoración de las especies vegetales en donde *Sedum Rubrotinctum*, (A), *Sedum Confusum*, (B), y *Sedum Compressum* (C), son seleccionadas para el montaje del techo verde.

Tabla 9 Resultados de la Valoración de las Especies Vegetales

Categoría	Variables	<i>Sedum rubrotinctum</i>	<i>Sedum confusum</i>	<i>Sedum compressum</i>	<i>Sedum Angelina</i>	<i>Sedum Palmeri</i>
Origen	Exótica sin potencial invasor	2	2	2	2	2
Hábito (tipo de crecimiento de la planta)	Arbusto	2	2	2	2	2
Altura (altura de la planta)	0 - 1,0 m	3	3	3	3	3
Propagación	Semillas	1	3	1	1	1
	Esquejes	3	1	1	1	1
Rango Altitudinal	Se encuentra en el rango altitudinal	3	3	3	1	1

Categoría	Variables	<i>Sedum rubrotinctum</i>	<i>Sedum confusum</i>	<i>Sedum compressum</i>	<i>Sedum Angelina</i>	<i>Sedum Palmeri</i>
Clima	Presenta adaptabilidad a diversos climas, distribución completa	3	3	3	3	3
Agua	Bajo consumo de agua	3	2	3	3	3
Requerimientos lumínicos	Sombra	2	2	2	2	2
Viento	Preferencia por vientos de baja intensidad	1	3	3	1	1
Suelo	Suelos no profundos	3	3	2	1	2
Aplicaciones en jardinería	Si	3	3	3	3	3
Mantenimiento	Baja frecuencia (poda, fertilización, sustrato, fumigación)	3	3	3	3	3
Valor agregado	Aislamiento Térmico	3	3	3	3	3
	Estética	3	3	3	3	3
	Valoración Final	39	36	33	32	32

Fuente: Las autoras

4.3 Resultados del monitoreo

En este capítulo se encuentran los resultados del diseño y construcción del techo verde, los resultados de la valoración de las especies vegetales y los resultados del monitoreo. La sección tres de este capítulo está subdividido por cuatro partes: el balance hídrico del techo verde, el contenido de agua en la planta, el porcentaje de eficiencia de retención de la precipitación, los factores que afectan la capacidad de retención del agua lluvia, los resultados del análisis de la varianza y el t-Test para la capacidad de retención de los módulos vegetados.

Para la zona de estudio de acuerdo a la metodología que se encuentra en el documento de Bello & Velázquez, (2012), para una serie de datos con una longitud de 41 años, (Ver anexos, ítem A), existe una probabilidad de excedencia de 90,48% para un periodo de retorno de 1,11 años de 242 mm.

4.3.1 Balance hídrico del techo verde

Para calcular el balance hídrico del techo verde este apartado resume primeramente los resultados de los volúmenes de precipitación y escorrentía generados durante el periodo de estudio, consecutivamente se encuentran los resultados del volumen evapotranspirado en función del agua disponible para las plantas y finalmente el contenido hídrico de las especies vegetales evaluadas.

4.3.1.1 Volumen de precipitación y escorrentía generado

El número de eventos de precipitación resulta de la acumulación de volumen de agua lluvia distribuida en un tiempo de 6 horas. Durante los meses de octubre y noviembre del año 2018 se evidencian 39 eventos de precipitación. (Ver Eventos de precipitación para el momento de estudio y datos climatológicos, en el anexo C). Allí se pueden observar los eventos de precipitación evaluados durante el tiempo de estudio, su magnitud y las variables climatológicas, tales como: temperatura del aire, humedad del aire, radiación solar y velocidad del viento, intensidad de la precipitación y el tiempo antecedente seco para cada uno de los eventos.

El día 24 de noviembre el de mayor volumen con 51,50 mm/módulo y el día 27 de noviembre el de menor volumen con 3,20 mm/módulo. El mes de menos volumen de precipitación es octubre con 55,70 mm, comparado con el mes de noviembre con un volumen total de precipitación de 198,62 mm, (Ver Anexo C).

En la Tabla 10 se observa un volumen total de precipitación durante los meses de octubre y noviembre del año 2018 de 254,32 mm. A+C es el módulo con el mayor volumen de percolación, mientras que C, el de menor volumen.

Tabla 10 Volumen total de precipitación y escorrentía

Resultados	Precipitación total (mm)	A+B	A+C	B+C	B	C	A	Control
Total de percolación (mm)	254,32	110,94	136,25	124,67	119,20	32,52	135,37	132,31
Nota: Los valores resaltados en verde representan los módulos que se encuentran por encima del promedio								

Fuente: Las autoras

4.3.1.2 Volumen evapotranspirado en función del agua disponible para las plantas

- Evapotranspiración de referencia

En la Tabla 11, se observan los valores de la evapotranspiración de referencia correspondiente a los meses de octubre y noviembre al igual que los valores diarios. El menor valor de evapotranspiración de referencia corresponde al mes de noviembre con 78,406 mm/mes comparado con el mes de octubre: 84,019 m/mes.

Los días de mayor evapotranspiración corresponden al 6 de noviembre seguido por los días 17 y 20 de octubre. El día 10 de octubre y 30 de noviembre corresponden a los menores valores de evapotranspiración para el tiempo de estudio.

Tabla 11 Valores de Eto Diarios para el Tiempo de Estudio

Octubre			Noviembre		
Evento	Etp0 (mm/día)	Etp0 (mm/mes)	Evento	Etp0 (mm/día)	Etp0 (mm/mes)
01/10/2018	2,39	84,019	01/11/2018	2,71	78,406
02/10/2018	3,07		02/11/2018	1,98	
03/10/2018	2,81		03/11/2018	2,66	
04/10/2018	3,05		04/11/2018	2,15	
05/10/2018	1,82		05/11/2018	2,27	
06/10/2018	1,84		06/11/2018	3,89	
07/10/2018	2,49		07/11/2018	3,41	
08/10/2018	3,16		08/11/2018	2,98	
09/10/2018	2,48		09/11/2018	1,72	
10/10/2018	1,59		10/11/2018	2,12	
11/10/2018	1,85		11/11/2018	2,50	
12/10/2018	2,16		12/11/2018	3,21	
13/10/2018	2,87		13/11/2018	1,93	
14/10/2018	2,25		14/11/2018	3,05	
15/10/2018	3,33		15/11/2018	2,72	
16/10/2018	2,88		16/11/2018	2,78	
17/10/2018	3,90		17/11/2018	2,86	
18/10/2018	3,26		18/11/2018	2,77	
19/10/2018	2,94		19/11/2018	1,99	
20/10/2018	3,84		20/11/2018	3,32	
21/10/2018	2,49		21/11/2018	3,09	
22/10/2018	2,89		22/11/2018	2,11	
23/10/2018	3,53		23/11/2018	3,52	
24/10/2018	2,93		24/11/2018	2,07	
25/10/2018	2,48		25/11/2018	2,82	
26/10/2018	1,85		26/11/2018	2,82	
27/10/2018	2,98		27/11/2018	2,32	
28/10/2018	2,86		28/11/2018	2,07	
29/10/2018	2,56		29/11/2018	2,87	
30/10/2018	2,90		30/11/2018	1,71	
31/10/2018	2,57		Nota: Los valores mensuales por encima del promedio se resaltan en color amarillo.		

Fuente: Las autoras

- Evapotranspiración real

En el anexo 0, se observan los eventos de precipitación y los valores de ETR para el mes de octubre, mes de menor volumen de precipitación comparado con el mes de noviembre. La evapotranspiración de los módulos vegetados es calculada a partir de la evapotranspiración de referencia, (valor representativo para el módulo control) y el factor Kc que se encuentra en la investigación de Pérez Murillo, (2015).

Todas las especies vegetales tienen un factor Kc diferente que puede variar a lo largo del tiempo según las necesidades de la planta. Según Pérez Murillo (2015) no siempre el sistema suelo-planta evapotranspira a su tasa potencial, sino que debe hacerlo a una tasa menor en razón de la disponibilidad de agua útil al suelo, la cual depende de los aportes por parte de la precipitación. Es necesario contar con lisímetros o sistemas de peso que permitan conocer el volumen hídrico de los módulos para lograr estimar el valor correcto para cada evento. No obstante, el cálculo de la evapotranspiración real se realiza a través del valor más bajo de Kc = 0,58.

De esta manera se tiene que el mes de octubre presenta una ETR de 46,41 mm/mes, este valor es mayor a la ETR del mes de noviembre: 45,47 mm/mes.

En la gráfica del anexo L, se puede notar que el 17 y el 20 de octubre presentan los valores de mayor ETR. Para el mes de noviembre, (Ver Anexo M), mes de mayor contenido de precipitación para el tiempo de estudio, los días 6 y 23 de noviembre presentan los mayores valores de ETR mientras que los días 30 y 9 de Noviembre presentan los menores valores de ETR.

4.3.1.3 Volumen de interceptación

En la Tabla 12, se observa el volumen de interceptación para cada una de los módulos en los meses de octubre y noviembre del 2018.

Tabla 12 Balance Hídrico para el Tiempo de Estudio

Canasta	A+B	A+C	B+C	B	C	A	Control
Volumen de interceptación (L/mes-octubre)	5,78	2,17	7,20	1,69	4,30	1,23	-36,89
Volumen de interceptación (L/mes-noviembre)	45,72	24,01	30,57	41,54	125,62	25,84	-3,52
Volumen de interceptación total (L)	51,50	26,19	37,77	43,23	129,92	27,07	-40,42

Nota: En cada fila se indican los valores por encima del promedio en color verde y los valores por debajo del promedio en color rojo.

Fuente: Las autoras

Para el mes de octubre, la especie B+C contiene el mayor volumen de interceptación seguido por la combinación entre A+B. El módulo control se encuentra en déficit debido a la evapotranspiración de referencia. Las especies A y B contienen el menor volumen de interceptación de los módulos vegetados.

La especie vegetal C contiene un mayor volumen de interceptación durante el mes de mayor volumen de precipitación (noviembre), contrario a cuando las especies vegetales A+C se encuentran combinadas ya que contienen el menor volumen de interceptación. Durante el mes de noviembre el módulo control ha disminuido su déficit en un 90,94% pero permanece en ese estado.

La evapotranspiración es un factor clave para la disminución del volumen de agua lluvia para el módulo control. La especie vegetal C contiene el mayor volumen de interceptación para periodos de mayor volumen de precipitación, mientras que la combinación entre B+C contiene el mayor volumen de interceptación para periodos de menor volumen de precipitación.

La especie vegetal A aumenta su volumen de interceptación al encontrarse con la especie B y C en ambos meses. La especie vegetal B, aumenta su volumen de interceptación con la especie A y C tanto en octubre como en noviembre. Sin embargo, a pesar de mejorar con la especie vegetal A para el mes de noviembre, disminuye su volumen de interceptación con la especie C durante este mes. Para la especie vegetal C, durante el periodo más seco, mejora su volumen de interceptación con la especie vegetal B y la disminuye con A, mientras que para periodos con mayor volumen de agua lluvia, no tiene un volumen de interceptación mayor al encontrarse con las otras especies vegetales.

4.3.2 Contenido de agua en la planta

El contenido hídrico de las plantas es el resultado de la relación entre la masa fresca y la masa seca del tejido vegetal. En la Tabla 13, se muestra el contenido hídrico, el contenido hídrico relativo y el déficit de saturación hídrico para cada especie vegetal:

Tabla 13 *Contenido Hídrico de las Especies Vegetales*

Especie	Contenido Hídrico (%)	Contenido hídrico relativo (%)	Déficit de saturación hídrica (%)
A	96	95,65	4,35
C	91,66	73,33	26,67
B	+/- 96,66	+/- 49,72	+/- 50,28

Fuente: Las autoras

La especie vegetal B presenta un mayor contenido hídrico seguido por A. Por lo que se sugiere que B retiene más volumen de agua.

En cuanto al contenido hídrico relativo, la especie A presenta mayor contenido hídrico relativo, seguido de la especie C. Con estos resultados se entiende que ambas especies son más tolerantes a la sequía mientras que la especie vegetal B es menos tolerante ante el estrés hídrico (Ver Figura 23. Especie Vegetal B, Antes y Después)



Figura 23. Especie Vegetal B, Antes y Después del estudio

Fuente: Las autoras

4.3.3 Porcentaje de eficiencia de retención de la precipitación

El porcentaje de eficiencia de retención del agua lluvia se evalúa por evento de precipitación para cada especie vegetal y el módulo control o sustrato que se puede observar en los anexos D, E, F, G, H, J y K. Cabe resaltar que la especie vegetal C presenta un porcentaje de eficiencia significativamente mayor comparado con todos los demás módulos.

En la Tabla 14 se observa que para el periodo de estudio el módulo control (sustrato) presenta una mejor eficiencia que la especie A y la combinación entre A+C, pero es superada por el desempeño de las especies vegetales B y C y por las combinaciones entre B+C y A+B.

Tabla 14. Resultados del Porcentaje de Eficiencia de Retención del agua Lluvia

Resultados	Precipitación total (L)	A+B (%)	A+C (%)	B+C (%)	B (%)	C (%)	A (%)	Control (%)
Eficiencia de retención de la precipitación. (Octubre)		98,60	97,91	99,26	95,72	96,91	95,62	96,30
Eficiencia de retención de la precipitación. (Noviembre)		74,54	67,15	67,54	71,84	89,84	65,58	67,64
Eficiencia de retención de la precipitación. (General)		56,38	46,43	50,98	53,13	87,21	46,77	47,97
Humedad relativa del suelo		28,11	38,28	39,80	61,38	45,38	46,15	55,06
Nota: En cada fila se indican los valores por encima del promedio en color verde y los valores por debajo del promedio en color rojo. Para el porcentaje de humedad relativa del suelo, los valores por encima del promedio se encuentran resaltados en amarillo.								

Fuente: Las autoras

Tanto A como B se ven afectadas por C, la especie de mejor desempeño. Sin embargo, estas dos especies mejoran su capacidad de retención de escorrentía al encontrarse y la humedad relativa del suelo disminuye. Al existir competencia por el recurso hídrico y la disminución de la humedad del suelo. Vals et. al., 2017, menciona que cuando la disminución de la humedad se presenta se mejora la capacidad de reducción de aguas pluviales.

Los módulos que contienen las especies vegetales que no se encuentran combinadas, contienen el mayor contenido porcentual de humedad relativa del suelo comparado con los módulos que contienen coberturas vegetales mixtas, siendo el módulo B el de mayor contenido porcentual y el módulo A+B el de menor contenido porcentual.

Cuando hay una oferta limitada del recurso agua los módulos presentan un 97,34% de eficiencia en promedio pero cuando la oferta de agua aumenta se disminuye la capacidad de retención a un 72,75% en promedio. Esto se observa para el mes de octubre y noviembre respectivamente.

Las coberturas vegetales mixtas presentan mejor eficiencia que los monocultivos cuando la oferta de agua disminuye debido a la competencia interespecífica por el consumo del recurso. Sin embargo, la competencia no jerarquizada de B hace que unas especies sobrevivan y otras mueran, también debido a su alto contenido de humedad. En la literatura se menciona que entre más contenido de humedad de suelo se disminuye la cantidad de especies de *Sedum*, (SFGATE, s.f). (Ver Figura 23).

Cuando existe mayor oferta de agua, (mes de noviembre), la especie vegetal C es dominante sobre las demás especies afectando su capacidad de retención debido a la competencia interespecífica por el recurso agua pues C hace que el recurso sea limitado. Al existir menores individuos de una especie y mayor competencia, la capacidad de retención se ve disminuida. Si comparamos esta situación con las investigaciones de Zhang et. al, 2018, C puede limitar el recurso mediante un flujo preferencial que debe ser evaluado por la composición de sus raíces.

4.3.4 Factores que afectan la capacidad de retención del agua lluvia

En la Tabla 15, se observa la correlación entre el porcentaje de eficiencia de la retención del agua lluvia con: la precipitación, la humedad del suelo, la humedad del aire, el tiempo antecedente seco y la intensidad de la precipitación.

Tabla 15 Matriz de correlación con respecto a la capacidad de retención del agua lluvia

Matriz de correlación con respecto a la capacidad de retención del agua lluvia	A+B	A+C	B+C	B	C	A	Control	Promedio total
Tiempo antecedente seco	-0,02	-0,01	-0,04	-0,03	-0,22	-0,03	-0,14	-0,07
Humedad del aire	-0,18	-0,24	-0,23	-0,18	-0,17	-0,25	-0,21	-0,21
Intensidad de la precipitación	-0,18	-0,21	-0,11	-0,25	-0,27	-0,22	-0,23	-0,21
Humedad del suelo	-0,40	-0,37	-0,41	-0,20	-0,21	-0,36	-0,24	-0,31
Precipitación	0,81	0,78	0,75	0,78	-0,37	0,77	-0,73	-0,71
Nota: Los valores por debajo del promedio para cada fila se indican en color amarillo.								

Fuente: Las autoras

El volumen de la precipitación es el factor climatológico que más afecta la eficiencia de retención del agua lluvia para todas las especies vegetales y el sustrato durante el periodo de estudio (-0,71), al ser una correlación negativa estas variables se correlacionan en sentido inverso, es decir, a mayor volumen de precipitación menor capacidad de retención. Este factor

climatológico afecta en mayor magnitud a la combinación entre A+B, (-0,81), siendo la especie vegetal C, la que menos se ve afectada por el volumen de agua lluvia, (-0,37), seguido del sustrato, (-0,73), y la combinación entre B+C (-0,75).

Los factores humedad de suelo (-0,31), la intensidad de la precipitación (-0,21), y la humedad del aire (-0,21), no representan una correlación importante. A pesar de esto, cuando las especies vegetales se encuentran combinadas estas se ven mayormente afectadas por la humedad del suelo que cuando están separadas. La especie B, seguida por la especie C, tienden a no disminuir su capacidad de retención por la humedad del suelo al igual que el sustrato. Las especies vegetales C y B se ven afectadas por la intensidad de la precipitación pero la combinación entre B+C y A+B son los módulos menos afectados por este factor. Los módulos A, A+C y B+C son los más afectados por la humedad del aire.

El tiempo antecedente seco que aunque no afecta la capacidad de retención y aumenta el porcentaje de eficiencia es aprovechado solo por la especie C y el sustrato pero su correlación no es representativa. 4.3.5 Resultados del análisis de varianza de la capacidad de retención de la escorrentía para los módulos del techo verde. En la Tabla 16, Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19, Tabla 20 y la Tabla 21, se encuentran la suma de los cuadrados tanto entre grupo como dentro de los grupos, los grados de libertad y el promedio de los cuadrados.

El análisis de varianza de la especie vegetal A cuando se encuentra combinada con B y C se encuentra en la Tabla 16 y la Tabla 17 respectivamente. Estos resultados muestran que F es menor al valor crítico para F dando como resultado la hipótesis nula la cual es: “La eficiencia es igual o mayor en presencia de otra especie vegetal con una confiabilidad del 95%”

Tabla 16 Análisis de Varianza de un factor para A y A+B

	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
	A	39	3158,44	80,99	907,22	
	A+B	39	3388,31	86,88	644,04	
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	677,45	1	677,45	0,87	0,35	3,97
Dentro de los grupos	58947,79	76	775,63			
Total	59625,24	77				

Fuente: Las autoras

Tabla 17 Análisis de Varianza de un factor para A y A+C

	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
	A	39	3158,44	80,99	907,22	
	A+C	39	3234,01	82,92	1003,75	
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	73,22	1	73,22	0,08	0,78	3,97
Dentro de los grupos	72616,72	76	955,48			
Total	72689,93	77				

Fuente: Las autoras

A continuación, en la Tabla 18 y la Tabla 19 se evidencian los resultados del método estadístico ANOVA para el módulo B y sus combinaciones con C y A. En este caso los resultados muestran que F es menor al valor crítico para F dando como resultado la hipótesis nula.

Tabla 18 Análisis de Varianza de un factor para B y B+C

	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
	B	39	3279,38	84,09	720,11	
	B+C	39	3268,43	83,81	882,64	
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,54	1	1,54	0,002	0,97	3,97
Dentro de los grupos	60904,24	76	801,37			
Total	60905,77	77				

Fuente: Las autoras

Tabla 19 Análisis de Varianza de un factor para B y B+A

	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
	B	39	3279,38	84,09	720,11	
	B+A	39	3388,31	86,88	644,04	
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	152,12	1	152,12	0,22	0,64	3,97
Dentro de los grupos	51837,56	76	682,07			
Total	51989,68	77				

Fuente: Las autoras

En el caso de la especie vegetal C se evidencia que F es mayor que la F crítica cuando se encuentra con la especie A y la especie C, (Ver Tabla 20 y Tabla 21), esto significa que se

rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna: 'La eficiencia es menor cuando la especie vegetal está combinada con una confiabilidad del 95%'.

Tabla 20 Análisis de Varianza de un factor para C y A+C

	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
	C	39	3645,26	93,47	130,06	
	A+C	39	3234,01	82,92	1003,75	
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2168,35	1	2168,35	3,97	0,05	3,82
Dentro de los grupos	43084,56	76	566,90			
Total	45252,91	77				

Fuente: Las autoras

Tabla 21 Análisis de Varianza de un factor para C y B+C

	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
	C	39	3645,26	93,47	130,06	
	B+C	39	3268,43	83,81	882,64	
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1820,60	1	1820,60	3,97	0,04	3,60
Dentro de los grupos	38482,31	76	506,35			
Total	40302,91	77				

Fuente: Las autoras

4.3.6 Resultados del análisis de retención de la escorrentía según el t-Test

En la Tabla 22 se muestra si existe una diferencia significativa cuando la especie vegetal evaluada se encuentra sola y combinada.

La especie vegetal A aumenta significativamente su capacidad de retención cuando se encuentra con B mientras que cuando A y C se encuentran la capacidad de retención que se ve disminuida no es representativa.

Por otro lado para la especie vegetal B se evidencia que al encontrarse con C, la disminución de su capacidad de retención y el aumento de su eficiencia con A no son relevantes. Mientras tanto la disminución de la capacidad de retención de la especie vegetal C cuando se encuentra con las demás especies vegetales si es considerable.

Tabla 22 Resultados del análisis de retención de la escorrentía según t-Test

	A	AB	A	AC	B	BC	B	AB	C	AC	C	BC

	A	AB	A	AC	B	BC	B	AB	C	AC	C	BC
Media	80,99	86,88	80,99	82,92	84,09	83,81	84,09	86,88	93,47	82,9	93,47	83,8
Varianza	907,22	644,04	907,22	1003,75	720,11	882,64	720,11	644,04	130,06	1003,7	130,06	882,6
Observaciones	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,0	39,00	39,0
Coefficiente de correlación de Pearson	0,91		0,97		0,93		0,95		0,62		0,68	
Diferencia hipotética de las medias	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
Grados de libertad	38,00		38,00		38,00		38,00		38,00		38,00	
Estadístico t	-2,95		-1,56		0,16		-2,01		2,52		2,57	
P(T<=t) una cola	0,00		0,06		0,44		0,03		0,01		0,01	
Valor crítico de t (una cola)	1,69		1,69		1,69		1,69		1,69		1,69	
P(T<=t) dos colas	0,01		0,13		0,88		0,05		0,02		0,01	
Valor crítico de t (dos colas)	2,02		2,02		2,02		2,02		2,02		2,02	
Nota: Los valores de P mayores que el rango de confiabilidad de 0,05 se encuentran resaltados en color amarillo.												

Fuente: Las autoras

5. Conclusiones y recomendaciones

El diseño de techo verde presentado en esta experimentación no supera la carga mínima aceptable sobre terrazas con piso de concreto y es considerado como un techo verde ajardinado liviano. No se recomienda el uso de mantos bituminosos como sistema de impermeabilización. En caso de elegir techos verdes como SUDS para la región sobre la que se localiza el proyecto se debe considerar una precipitación máxima anual de 966,448 mm para un periodo de retorno de 100 años.

La localización del techo verde influyó en la cantidad de eventos de precipitación analizados y el volumen de precipitación evaluado sobre los módulos. Se recomienda monitorear el desempeño de techos verdes en la franja de los cerros orientales o en la zona de San Cristóbal de la ciudad de Bogotá ya que en estas zonas se concentran las mayores tormentas.

La matriz de selección de especies vegetales recomendada por la Secretaría Distrital de Ambiente a través de la evaluación de 13 categorías permitió la elección objetiva de 3 especies vegetales de *Sedum*: *S. Rubrotinctum*, *S. Confusum* y *S. Compressum* evaluadas en esta experimentación.

Para el periodo de estudio los módulos A+C y A presentaron el mayor volumen de percolación mientras que la especie C y el módulo A+B los de menor volumen de percolación. Mientras tanto, el módulo control presentó el menor volumen de interceptación. La evaporación del módulo control es un factor que influencia significativamente en su capacidad de retención, pese a esto, esta investigación demuestra que las coberturas vegetales mejoran la eficiencia de los techos verdes para controlar los volúmenes de precipitación. solo la especie vegetal A y la

combinación entre A+C se encuentran por debajo de la eficiencia del módulo control. Cuando hay una oferta limitada del recurso agua los módulos presentan una eficiencia promedio de 97,34% donde las coberturas vegetales mixtas presentan mejor desempeño que los monocultivos debido a la competencia interespecífica por el recurso y la disminución del porcentaje de humedad de suelo. Sin embargo, al existir mayor oferta del recurso hídrico la capacidad de retención de los módulos disminuye a 72,75%. La especie vegetal C presenta el mejor desempeño ante la mayor oferta de agua con 87,21%. No obstante, esta especie es dominante sobre las demás especies limitando el recurso y afectando la capacidad de retención de A y B. Se recomienda evaluar la composición de las raíces de las especies vegetales para conocer si C limita el recurso a través de un flujo preferencial.

A pesar de que C es la especie vegetal con el mejor porcentaje de retención de agua lluvia la combinación entre A+B se acerca con un promedio de %56,38 para el periodo de estudio. Cuando A y B se encuentran en monocultivos presentan mayor contenido de humedad pero al estar combinadas se reduce el contenido aumentando su capacidad de retención. El volumen de precipitación es el factor que más afecta la capacidad de retención de todos los módulos, a mayor volumen de precipitación menor capacidad de retención. Factores como la humedad del suelo, la intensidad de la precipitación y la humedad del aire no resultaron ser significativos. Cuando se presenta mayor tiempo antecedente seco entre eventos de precipitación solo la especie vegetal C y el módulo control aprovechan este factor. El monocultivo B es susceptible al estrés hídrico presentando una competencia no jerarquizada disminuyendo la densidad de las especies, pero al encontrarse con otra especie vegetal A la humedad de suelo disminuye y la especie sobrevive.

Los resultados del ANOVA evidencian que para la especie A y B y sus combinaciones: A+B, A+C y B+C la eficiencia es igual o mayor. Mientras que para C y sus combinaciones la eficiencia es menor cuando la especie vegetal está combinada. Sin embargo, los resultados del t-Test demuestran que la especie vegetal A aumenta significativamente con B y que la disminución de la capacidad de retención con C con las demás especies vegetales es considerable. Para las demás combinaciones no se presentan diferencias significativas.

No solo en términos paisajísticos los techos verdes pueden desempeñar un papel importante dentro de las ciudades y es importante seleccionar apropiadamente la cobertura vegetal para lograr este objetivo. , en cuanto a volumen de interceptación, se recomienda la investigación de la especie vegetal C para definir la cantidad de especies de B que logren incrementar su desempeño, la supervivencia durante periodos secos y los contrastes para el diseño de los techos verdes.

Para futuras investigaciones durante periodos en los que se espere un alto volumen de precipitación se recomienda evaluar la escorrentía en áreas de menor tamaño de los módulos que contienen la vegetación y/o el sustrato y recipientes de menor volumen para recolectar la percolación, aumentando la precisión y disminuyendo los errores en la medición.

Es importante mantener un control sobre el techo verde objeto de evaluación con una frecuencia mínima de cada dos días, revisar el estado de las conexiones electrónicas, los

dispositivos electrónicos y su calibración, los desagües, y remover la vegetación indeseada, enfocándose en los periodos de mayor precipitación que afectan los componentes eléctricos, de igual manera, asegurarse de aislar todos los dispositivos para evitar que el sistema de monitoreo se apague. Siempre cuente con un sistema de contingencia como módulos de repuesto y sistemas de medición de la percolación manuales, (probetas, regletas, entre otros), en caso de que el sistema falle o la resolución del instrumento en uso no provea una medida representativa.

Bibliografía

- Universidad de las Américas Puebla. (s.f.). *Adsorción*. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo4.pdf
- (2018). *Semana Sostenible*.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2009). *Localidad Engativá*. Bogotá. Obtenido de Diagnostico local con participación social 2009-2010: <http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Diagnosticos%20Locales/10-ENGATIVA.pdf>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2009). *Localidad Engativá*. Obtenido de Diagnostico local con participación social 2009-2010: <http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Diagnosticos%20Locales/10-ENGATIVA.pdf>
- AMG Kits. (s.f.). *Convertidor nivel lógico TTL 5V a 3.3V 8 canales TXS0108E*. Obtenido de <https://amgkits.com/home/233-convertidor-nivel-logico-ttl-5v-a-33v-8-canales.html>
- Bauder. (2017). *Green Roof design considerations*. Obtenido de <https://www.bauder.co.uk/technical-centre/downloads/design-guides/green-roof-design-guide.pdf>
- Baykal, A. (2018). *Green Roofs Copenhagen*. Obtenido de https://www.klimatilpasning.dk/media/631048/green_roofs_copenhagen.pdf
- Bello, L., & Velázquez, S. (2012). *Cálculo de periodo de retorno*.
- Ciencias y Cosas. (2009). *Factores por los que se puede entablar competencia entre plantas de igual o distinta especie*. Obtenido de <https://cienciasycosas.com/2009/05/28/factores-por-los-que-se-puede-entablar-competencia-entre-plantas-de-igual-o-distinta-especie/>
- Cipolla. et. al. (2016). *A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM*. Bologna, Italy: Ecological Engineering.
- Cogua Moreno, M. I. (2013). *Dinámica de la construcción por usos - Localidad de Engativá*. Bogotá: Unidad Administrativa Especial - Catastro Distrital.
- COWI Consulting Engineers and Planners AS. (2001). *Environmental Factors and Health*. Danish Environmental Protection Agency. Obtenido de The Danish Experience.
- Dagoue. (2016). Obtenido de <http://makestuffright.com/1-arduino-comparison-mega-vs-due/>
- Departamento de Ecología, Genética y Evolución. (2017). *Competencia intraespecífica*. Universidad de Buenos Aires. Obtenido de <http://www.ege.fcen.uba.ar/wp-content/uploads/2014/05/Teopob3.pdf>

- DFRobot. (25 de Mayo de 2017). *Capacitive Soil Moisture Sensor SKU: SEN0193*. Obtenido de <https://www.sigmaelectronica.net/wp-content/uploads/2018/04/sen0193-humedad-de-suelos.pdf>
- DFRobot. (2018). *Weight Sensor Module SKU:SEN0160*. Obtenido de <https://www.sigmaelectronica.net/wp-content/uploads/2018/08/sensor-de-peso-SEN0160.pdf>
- Electronilab. (s.f.). *Sensor de Distancia de Ultrasonido HC-SR04*. Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-distancia-de-ultrasonido-hc-sr04/>
- European Union. (2007). *Handbook on Sustainable Urban Drainage Systems*. Estonia-Latvia.
- Ferrans Ramirez, P. (2016). *Evaluación Experimental de la Capacidad de Retención y Efectos en la Calidad del Agua de Escorrentía Pluvial de Techos Verdes Modulares*. Obtenido de Universidad de Los Andes: <http://sie.car.gov.co/handle/20.500.11786/33628>
- Galvis Muñoz, B. S. (2016). *Evaluación de diferentes mezclas de sustratos alternativas para techos verdes sobre aspectos fisiológicos y de crecimiento en plantas de Sedum rupestre y Taphanus sativus L.* Bogotá, D.C: Universidad Javeriana.
- García, et. al. (2017). *Estudio de la capacidad de atenuación de la escorrentía superficial, a través de la implementación de 2 techos verdes en el barrio Nueva Marsella, localidad de Kennedy*.
- Gómez Blanco, J. A., & Cadena, M. C. (Diciembre de 2017). *Evapotranspiración de referencia (ET_o) para Colombia*. Obtenido de Nota Técnica del IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/Evapotranspiracion+de+Referencia+ETo+para+Colombia.pdf/ff0530d3-9842-4046-9257-ec9d50e8a9bb>
- Homecenter Sodimac Corona. (s.f.). *Plantatierra Jardineros*. Obtenido de https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/25655/Plantatierra-15-kilos/25655?TAB=Plantatierra%2015%20kilos&sTerm=Tierr&sType=product&sScenario=BTP_PR D_Plantatierra%2015%20kilos
- How to Mechatronics. (2016). *Arduino and DS3231 Real Time Clock Tutorial*. Obtenido de <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-ds3231-real-time-clock-tutorial/>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (2017). *Caracterización General de Escenario de Riesgo por Inundación*. Obtenido de <http://www.idiger.gov.co/rinundacion>
- Laguna, C. (2010). *Correlación y regresión lineal*. Obtenido de <http://www.ics-aragon.com/cursos/salud-publica/2014/pdf/M2T04.pdf>
- Llamas, L. (2016). *Leer escribir en una tarjeta SD o micro SD con Arduino*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/tarjeta-micro-sd-arduino/>
- Mactronica. (s.f.). Obtenido de <https://www.mactronica.com.co/>

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (1997). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10*. Obtenido de Título B - Cargas:
<https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/2titulo-b-nsr-100.pdf>
- Nagase, A., & Dunnet, N. (2010). *Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roof: Effects of watering and diversity*. Obtenido de
<http://www.greenroofresearch.co.uk/plants/2010%20Drought%20tolerance%20in%20different%20vegetation%20types-%20for%20extensive%20green%20roofs%20effects%20of%20watering%20and%20diversity.pdf>
- Organización para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Obtenido de Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos:
<http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- Oviedo Escobar, N. (2012). *Estudio de la atenuación de la escorrentía en techos verdes en altos de Cazucá, Soacha*. Obtenido de Universidad Javeriana:
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11144>
- Pascual, et. al. (2018). *Effect of Green Roof Configuration and Hydrological Variables on Runoff Water Quantity and Quality*. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Pérez Murrillo, G. (2015). *Experiencias en el monitoreo continuo de techos verdes modulares extensivos*. Bogotá D.C: Universidad de Los Andes.
- Pérez, L. V., Rojas, Y. A., & Melgajero, L. M. (2010). Ensayo 2. Contenido de agua actual, agua de saturación, contenido hídrico relativo y déficit de saturación hídrica. En *Experimentos en fisiología vegetal* (págs. 71-72). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Planner Inland Valley Garden . (2018). *Sedum x rubrotinctum*. Recuperado el 08 de 2018, de
<https://inlandvalleygardenplanner.org/plants/sedum-x-rubrotinctum/>
- Ponce, V. (Mayo de 2008). *Sobre el período de retorno ser usado para diseño*. Obtenido de
http://ponce.sdsu.edu/periodos_de_retorno_articulo.html
- Puentes Suavita, A. P. (2015). *Techos verdes utilizados como elementos de regulación de la escorrentía en Bogotá*. Obtenido de Pontificia Universidad Javeriana:
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/17077>
- Rossato, e. a. (2013). *Eficiencia en la retención del agua lluvia de cubiertas vegetadas de tipo extensivo e intensivo*. Obtenido de
https://www.researchgate.net/publication/260778527_Eficiencia_en_la_retencion_del_agua_de_lluvia_de_cubiertas_vegetadas_de_tipo_extensivo_eintensivo
- Sánchez, J. (2013). *Cálculos estadísticos en hidrología*. Obtenido de
http://hidrologia.usal.es/temas/calculos_esta.pdf

- Secretaría de ambiente. (2015). *Techos verdes y jardines verticales, guía práctica*. Bogotá.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2011). *Guía de Techos verdes en Bogotá*. Bogotá.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2013). *Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y parámetros medidos en cada una de ellas a 2013*.
Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/estaciones-rmcab>
- Secretaría Distrital de Ambiente, SAGAE. (2011). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible*. Obtenido de Documento técnico de soporte SUDS:
<http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73754/Sistema+Urbanos+de+Drenaje+Sostenible>
- SFGATE. (s.f). *Why do my sedum plants collapse in the middle*. Obtenido de <https://homeguides.sfgate.com/sedum-plants-collapse-middle-90497.html>
- Shafique, M., Kim, R., & Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 757-773.
- Sigma Electrónica LTDA. (s.f.). *Sigma Electrónica*. Obtenido de <https://www.sigmaelectronica.net/producto/a000062/>
- Structx. (3 de Enero de 2019). *Typical Porosity Values for Various Soil Types*. Obtenido de https://structx.com/Soil_Properties_006.html
- Subdirección de Ecurbanismo y Gestión Ambiental Empresarial, SEGAE. (2011). Sistema Urbano de Drenaje Sostenible. En M. P. Molina León, L. Gutiérrez , & J. Salazar, *Documento técnico de soporte DTS. Sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN* (pág. 11). Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Secretaria Distrital de Ambiente.
- Texas Instruments. (2018). *TXS0108E 8-Bit Bi-directional, Level-Shifting, Voltage Translator*. Obtenido de <file:///C:/Users/Toshiba%20Pc/Downloads/txs0108e.pdf>
- Texas Instruments. (2018). TXS0108E 8-Bit Bi-directional, Level-Shifting, Voltage Translator for Open-Drain and Push-Pull Applications.
- Títulos nauticos. (s.f.). Obtenido de <http://www.titulosnauticos.net/meteorologia/index.htm?/meteorologia/beaufort.htm>
- Tolderlund, L. (2010). *Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in the Semi-Arid and Arid West*. Colorado: University of Colorado Denver.
- Trujillo Trujillo, F. (2016). *Desarrollo de sustratos eficientes para cubiertas verdes en el área de Bogotá*. Universidad de Los Andes.

- US EPA. (2009). *Stormwater Management Handbook*. Obtenido de Implementing Green Infrastructure in Northern Kentucky Communities: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-04/documents/stormwater_management_handbook_kentucky_appendices.pdf
- Vasl et. al. (2017). *Sedum - Annual plant interactions on green roofs: Facilitation, competition and exclusions*. Ecological Engineering.
- Vásquez Luna, Ó. A. (2013). *Evaluación de los efectos de tipos de sustrato y vegetación en el comportamiento de techos verdes y azules*. Bogotá D.C: Universidad de Los Andes.
- Versini, et. al. (2015). *Assessment of the hydrological impacts of green roof: From building scale to basin scale*. Marne-la-Vallée, Francia: Journal of Hydrology.
- Wang, X., Tian, Y., & Zhao, X. (15 de Agosto de 2017). *The influence of dual-substrate-layer extensive green roofs on rainwater runoff quantity and quality*. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.hemeroteca.lasalle.edu.co/science/article/pii/S0048969717306368>
- Water science and technology. (2013). Modelling of green roofs' hydrologic performance using EPA's SWMM. *A journal of the international association on Water Pollution Research*, 36-42.
- Zhang et. al. (2018). *Influence of plant composition and water use strategies on green roof stormwater retention*. <https://www-sciencedirect-com.hemeroteca.lasalle.edu.co/science/article/pii/S0048969717336653>: Science of the Total Environment.

Anexos

A. Datos climatológicos de la zona de estudio

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES															
SISTEMAS DE INFORMACION AMBIENTAL															
VALORES MEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA (%)															
FECHA DE PROCESO		02/02/2018		ESTACION											
LATITUD		0440 N		TIPO ESTACION		CO		DEPTO		BOGOTA		FECHA - INS		1974/SEP	
LONGITUD		7406 W		ENTIDAD		01 IDEAM		MUNICIPIO		BOGOTA		FECHA - SUS			
ELEVACION		2552 m,s,n,m		REGIONAL		11 BOGOTA		CORRIENTE		BOGOTA					
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	VR ANUAL *
1974	2	1									88	79	82	81	83
1975	2	1	78	81	85	83	85	86	85	83	85	86		85	84
1976	2	1	78	79	81	83	79	76	71	69	71	81	76	78	77
1977	2	1	76	79	76	79	81	74	72	75	75	79	80	76	77
1978	2	1	74	73	78	83	78	76	74	74	73	78	79	78	77
1979	2	1	76	74	81	77	78	81	74	76	78	82	83	76	78
1980	1	1	73	74	71	75	73	77	71	76	72	74			74
1981	1	1						87	78			81	81	82	82
1982	1	1		82	83	87	86	83	83	80	80	86	89	90	84
1983	1	1	88	88	89	92	91	90	90	91	87	87	89	89	89
1984	1	1		92	92	89	89	91	89	88	92	92	91	87	90
1985	1	1	87	86	87	87	86	86	87	88	87	90	89	88	87
1986	1	1	89	90	89	89	89	89	86	86		91	88	90	89
1987	1	1	89	86	86	86	88	85	87	88	87	89		86	87
1988	1	1	87	91	91	87	82	82	83	85	84	88	91	87	87
1989	1	1	86	86	86	85	88	86	85	86	88	87	88	89	87
1990	1	1	87	89	87	90	90	89	86	87	85	88	88	88	88
1991	1	1	89	90	91	90	87	88	87	87	87	86	89	87	88
1992	1	1	87	87		76	86	89	88	85	86	88	90	91	87
1993	1	1	90	91	93	94	96	96	94	96	95	94	95	96	94
1994	1	1										*			
1996	1	1			86	*	76	74	77	70	73	79	76	79	77
1997	1	1	85	83	78	81	78	80	79	74	71	71	79	74	78
1998	1	1	74	75	76	76	83	78	78	77	76	86	76	80	78
1999	1	1	76	79	78	78	77	78	71	75	76	84	82	78	78
2000	1	1	75	79	81	79	78	74	77	74	81	77	76	*	77
2001	1	1	73	70	76	72	76	72	71	71	76	73	76	77	74
2002	1	1	74	73	81	80	79	79	73	75	76	76	80	79	77
2003	1	1	72	75	82	88	79	82	86	88	86	91	*	*	83
2004	1	1			*	*	80	78	80	75	80	87	85	88	82
2005	1	1	81	85	81	87	90	83		82	84	89	*	87	85
2006	1	1	*	87	95	95	91	*	74	78	82	88	90	*	87
2007	1	1	*	83	87	90	86	79	76	82		85	87	89	84
2008	1	1	*	79	90	85	86	89	*					*	86
2009	1	1	*	83	85	81	81	85	*	*	*	*	*	*	83
2010	1	1		67	71	84	82	75	*	77	*	76	*	80	77
2011	1	1	*	75	*	85	77	76	*	71	73	82	82	76	77
2012	1	1	*	73	80	85	*	71	72	72	*	*	*	*	76
2013	1	1									72	72	78	76	75
2014	1	1	73										80	75	76
2015	1	1	67												67
MEDIOS			80	81	84	84	83	82	80	80	81	83	84	83	82
MAXIMO			90	92	95	95	96	96	94	96	95	94	95	96	96
MINIMO			67	67	71	72	73	71	71	69	71	71	76	74	67

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
SISTEMAS DE INFORMACION AMBIENTAL

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)

FECHA DE PROCESO 02/02/2018

ESTACION 21205710 - JARDIN BOTANICO

LATITUD 0440 N

TIPO ESTACION CO

DEPTO BOGOTA

FECHA - INS 1974-SEP

LONGITUD 7406 W

ENTIDAD 01 IDEAM

MUNICIPIO BOGOTA

FECHA - SUS

ELEVACION 2552 m,s,n,m

REGIONAL 1 BOGOTA

CORRIENTE BOGOTA

AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	VR ANUAL *
1974	2	1									106,9	91,1	171	31,8	400,8
1975	2	1	3,9	52,5	92,3	128	101,1	43,6	56,7	59,6	65,1	76		96,2	775
1976	2	1	44	94,2	85,8	119,4	95	69,6	10,6	9,1	20,8	118,6	115,4	16,5	799
1977	2	1	11,1	24,6	107,9	85,5	46,9	21	70,8	56	111,3	158,5	93,1	42,7	829,4
1978	2	1	27,6	44,2	117,1	168,1	124,7	64	37,3	18,5	95,6	91,5	79	34,9	902,5
1979	2	1	44,4	29,1	*	160,7	145,3	131,6	60,3	89,3	99,9	132,4	233,5	31,6	1158,1
1980	2	1	17,5	69,1	10,3	79,5	100,5	103	12	44,8	61,1	93,7		133	724,5
1981	2	1			67,9	173,3	339,3	44	22,6	47,4	52	128	217,5	55,6	1147,6
1982	2	1	4	53	101,6	267,5	144,1	14,8	23,6	22	16,6	112,8	122,2	64,5	942,7
1983	2	1	9,7	28,3	177	204,4	134	57,3	31,3	26,8	34,7	101	56	71,4	931,9
1984	2	1	84,8	86	84,3	100	136,7	107,8	42,8	116,9	95,1	87	122,6	11,7	1075,7
1985	2	1	17,1	5,4	56,7	69,1	124,1	22	43	52,6	128,5	106,7	80,6	59,6	765,4
1987	2	1	52,8	35,5	26,5	136,8	108,3	15,9	53,8	35,5	65,4	159,8	43,5	30,3	764,1
1988	2	1	0	34,7	9	124,7	163,9	44,5	44,8	92,4	81,3	138,7	175,4	97,3	1006,7
1989	2	1	16,5	66,4	179,9	52,4	87,3	56,3	24,7	39,7	81,1	101,7	79,8	27,2	813
1990	2	1	62,5	44,9	58,2	143,3	104,4	10,4	33,2	39,6	90,9	219,9	130,4	165,6	1103,3
1991	2	1	37,8	3,9	75,2	106,5	64,2	6,8	22,5	26	43,1	20,6	145,9	64,5	617
1992	2	1	19,6	24,5		53,6	60,5	14,1	37,3	44,1	81,5	58,8	173,4	76,4	643,8
1993	2	1	47,9	50	78,3	137,7	149,7	19,5	55,3	30,6	50,8	41,7	198,7	71,2	931,4
1996	2	1			*	74,6	132,9	58,7	83,1	74	84,9	111,5	39,7	30,1	689,5
1997	2	1	108,3	17,3	51,8	90,4	64,7	97,7	29,3	18,2	65,3	57,8	104,6	9,9	715,3
1998	2	1	26,8	63,5	88	112,5	191,3	53,6	65,7	101,6	199,7	141	132,3	179	1355
1999	2	1	82,9	171,8	135,3	82,7	95,1	137	59,8	61,3	139,1	212,6	135,2	86,9	1399,7
2000	1	1	66,8	200,2	124,9	85,5	87,6	103,3	106,5	45,9	121,2	136,9	74	*	1152,8
2001	2	1	70,4	33,9	105,1	21,2	119	49,3	41	26,4	105	30,7	118,8	50,6	771,4
2002	2	1	62,5	68,6	72,5	306,3	121,6	139,3	34,5	19,5	68,3	106,6	91,2	98,2	1189,1
2003	1	1	6,1	43,6	50,4	141,2	24,7	67,3	41,5	79,4	74,8	81,5	129,7	*	740,2
2004	1	1			50,3	116	136,9	72,4	42,5	35,8	85,7	190,3	140,2	33,4	903,5
2005	1	1	55,1	62,5	68,3	110,6	227,2	49,8	20	44	62,3	225,4	81,2	109,9	1116,3
2006	1	1	119,1	43,3	179,1	262,9	208,6	117,4	30,3	41,8	35,4	195,8	142,6	*	1376,3
2007	1	1	*	49,9	85,7	*					17,2	266,9	140	144,6	704,3
2008	1	1	73,9	67	144,1	112,5	212,9	135,3	*	86,5	48,3	183	185,8	94,6	1343,9
2009	1	1	78,1	112,7	149,8	89,7	17,4	68,9	29,3	34,2	28	140,3	60,4	78,2	887
2010	1	1		44,3	28,8	229,2	222,9	99,9	190,5	55,2	82,4	174,4	220,3	180,2	1528,1
2011	1	1	102,4	100,4	178	299,1	144,8	65,6	73,2	41,7	98,1	193,6	275,9	202,7	1775,5
2012	1	1	*	81,5	137,3	246,8	47,6	39,7	49,7	58,6	23,3	134,9	53,4	43,8	916,6
2013	1	1	6	79,5	120,1	138,5	167,4	56	36,3		45,5	88,7	178,6	86,6	1003,2
2014	1	1	65,6	94,2	135,3	125,3	133,3	46,3	30	16,9	69,7	140,5	112,1	134,9	1104,1
2015	1	1	66,3	27	127,9	63,5	46,4	49,3	49,5	31,7	29,9	44,9	112,3	2,4	651,1
2016	1	1	7,5	13,1	90,7	218,6	108,3	49,5	46,8	63,7	77,6	81,2	250,9	88,2	1096,1
2017	1	1	40,4	93,7	171,8	63,9	228,6								598,4
MEDIOS			46,5	59,8	97,9	135,9	127,4	63,2	47,1	48,3	73,6	124,4	132	76,7	1033
MAXIMO			119,1	200,2	179,9	306,3	339,3	139,3	190,5	116,9	199,7	266,9	275,9	202,7	339,3
MINIMO			0	3,9	9	21,2	17,4	6,8	10,6	9,1	16,6	20,6	39,7	2,4	0

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
SISTEMAS DE INFORMACION AMBIENTAL

VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)

FECHA DE PROCESO 02/02/2018

ESTACION 21205710 - JARDIN BOTANICO

LATITUD 0440 N
LONGITUD 7406 W
ELEVACION 2552 m,s,n,m

TIPO ESTACION CO
ENTIDAD 01 IDEAM
REGIONAL 11 BOGOTA

DEPTO BOGOTA
MUNICIPIO BOGOTA
CORRIENTE BOGOTA

FECHA - INS 1974-SEP
FECHA - SUS

AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VR ANUAL *
1974	2	1									12,7	12,9	13	11,5	12,5
1975	2	1	12	11,9	12,2 8	12,5	11,9	11,8	11,8	11,6	11,8	11,2	11,7 8	12,9	11,9
1976	2	1	12,3	12,7	13,3	13,1	13,5	13,2	13,1	13,1	13,6	13,5	13,4	12,9	13,1
1977	2	1	13,1	13,5	14,3	14,1	13,6	13,7	13,6	13	13,2	13,9	13,7	13,6	13,6
1978	2	1	13	14,1	13,7	13,9	14	13,5	13,3	13	13,4	13,5	13,9	13,7	13,6
1979	2	1	13,5	13,7	13,6	14,5	14,5	13,7	13,9	13,7	13,8	14,2	14,3	14,5	14
1980	1	1	14,7	14,9	15,1	15	15,3	14,2	14,6	13,5	14,8	14,2	14,5 8	14,0 8	14,6
1981	1	1	14,2 8	13,9 8	14,0 8	13,6 8	13,7 8	13	13,5	13,2 8	13,9 8	13,6	14,2	13,4	13,7
1982	1	1	14,0 8	13,7	14,1	13,7	13,9	13,9	13,5	13,3	13,7	13,3	13,7	13,7	13,7
1983	1	1	14,5	14,4	14,6	14,8	15	15,1	15	14,8	14,8	14,4	14,2	14,4	14,7
1984	1	1	14,4 8	14,3	14,2	14,1	14,3	13,4	13,4	13,8	13,4	13,3	13,4	13,9	13,8
1985	1	1	13,7	13,6	15,4	14,6	14,7	14,2	13,9	14,1	13,8	14,3	13,9	14,3	14,2
1986	1	1	14,2	14	14,3	15	14,8	15	14	14,5	14,4 8	14,4	14,8	14,5	14,5
1987	1	1	15,3	15,2	16,1	16	16,2	17,1	17,1	16,4	16,4	16	16,2 8	15,7	16,1
1988	1	1	15,8	14,6	14,7	14,9	14,6	14,5	14,3	13,7	14,1	13,9	14,1	13,9	14,4
1989	1	1	13,9	13,4	13,2	13,6	13,3	13,4	13,1	12,9	13	13,5	13,8	13,4	13,4
1990	1	1	13,6	13,6	14,3	14	14	13,7	13,8	13,7	14,1	13,8	14	13,6	13,9
1991	1	1	13,5	13,7	13,9	14,3	14,8	14,5	14	13,9	14	14	13,8	14	14
1992	1	1	14,1	13,9	13,9 8	16	15,4	14,8	14,1	13,9	13,7	14,2	13,9	14,2	14,3
1993	1	1	14	14	13,9	14,3	14,2	14,2	14	13,7	13,9	14,1	14,1	14,3	14,1
1994	1	1	14,3 8	14,2 8	14,3 8	14,6 8	14,6 8	14,4 8	14,2 8	14,0 8	14,2 8	*	14,3 8	14,3 8	14,3
1995	1	1	14,4 8	14,3 8	14,4 8	14,6 8	14,6 8	14,5 8	14,3 8	14,1 8	14,2 8	14,3 8	14,4 8	14,4 8	14,4
1996	1	1	14,4 8	14,6	14,5	15,1 8	15,7	16	15,4	15,8	16	15,7	15,7	15,7	15,4
1997	1	1	15,3	15,8	16,3	15,8	16,3	16,3	15,7	16,1	16,8	17,1	16,8	16,8	16,3
1998	1	1	17,8	17,8	17,9	18,1	16,2	16	15,5	15,8	16,2	15,6	16,2	15,7	16,6
1999	1	1	15,9	15,7	15,6	15,6	16,1	15,7	16	15,8	15,3	14,9	15,5	15,9	15,7
2000	1	1	15,5	15,6	15,3	15,4	16,6	16,5	15,3	16,4	15,3	16,1	16,3	16,2 8	15,9
2001	1	1	15,7	15,9	16,1	16,5	16,5	16,4	16,5	16,2	15,8	16,9	16,5	16,9	16,3
2002	1	1	16,6	16,8	16,2	16,4	16,3	16,1	16,5	16	16	16	16	16,2	16,3
2003	1	1	16,9	16,8	16,1	15,9	16	15,4	15,3	15,5	15,7	15,1	*	*	15,9
2004	1	1	15,8 8	15,8 8		*	15,8	15,2	15,1	15,8	15,9	15,3	15,7	15,7	15,6
2005	1	1	16,5	16,5	17,1	16,6	16,3	16,3	16,0 8	16,1	16	15,8	15,3	15,1	16,1
2006	1	1	15,9	16,9	15,6	15,5	16,1	*	16,1	16,4	16,9	16,1	15,8	16,6	16,2
2007	1	1	*	16,5	16,1	16,5	16,5	16,2	16,4	16,1	16,3 8	15,9	16,3	15,7	16,2
2008	1	1	*	16,1	15,5	15,8	15,9	16	*	15,8 8	15,9 8	15,7 8	15,8 8	*	15,8
2009	1	1	15,4	15,9	14,3	14,9 1	14,5	15,9	15,7	16,3	*	*	*	*	15,4
2010	1	1		16,8	16,9	16,1	16,2	16	15,2	15,3	15	15,3	14,6	15	15,7
2011	1	1	15,6	15,4	14,8	15	15,7	15,6	*	15,7	15,6	15	15	15,6	15,4
2012	1	1	*	15,6	15,5	14,3	*	15,9	15,4	15	15,4	*	*	*	15,3
2013	1	1										15	15,2	15,3	15,2
2014	1	1	15,7			14,8	15	14,2	14,3	13,7			15	15,1	14,7
2015	1	1	16											*	16
2016	1	1		16,6		15,9	15,4		*	14,9	14,6	14,7	14,7	14,4	15,2
2017	1	1	14,4	*											14,4
MEDIOS			14,8	14,9	14,9	15	15,1	14,9	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,8

B. Código utilizado para la programación de los sensores

```
// Copyright (c) 2018, Lina Camacho

// All rights reserved.

#include <stdio.h>

#include <Wire.h>

#include "RTCLib.h"

#include <SPI.h>

#include <SD.h>

// change this to match your SD shield or module;

//  Arduino Ethernet shield: pin 4

//  Adafruit SD shields and modules: pin 10

//  Sparkfun SD shield: pin 8

const int chipSelect = 4;

#define SD_CS_PIN SS

#define trigPin1 52

#define echoPin1 53

#define trigPin2 48

#define echoPin2 49

#define trigPin3 44

#define echoPin3 45

#define trigPin4 22

#define echoPin4 23

#define trigPin5 26

#define echoPin5 27

#define trigPin6 28

#define echoPin6 29

#define trigPin7 32

#define echoPin7 33
```

```

int Moisture1 = A7;

int Moisture2 = A6;

int Moisture3 = A5;

int Moisture4 = A3;

int Moisture5 = A2;

int Moisture6 = A1;

int Moisture7 = A0;

long duracion, distancia, Sensor1, Sensor2, Sensor3, Sensor4, Sensor5, Sensor6, Sensor7;

File myFile;

RTC_DS3231 rtc;

char daysOfTheWeek[7][12] = {"Sunday", "Monday", "Tuesday", "Wednesday", "Thursday", "Friday", "Saturday"};

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // Set RTC Clock
  // Set of Level Sensors
  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println("Couldn't find RTC");
    while (1);
  }
  if (rtc.lostPower()) {
    Serial.println("RTC lost power, lets set the time!");
    // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
    // rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    // This line sets the RTC with an explicit date & time, for example to set
    // January 21, 2014 at 3am you would call:
    //rtc.adjust(DateTime(2018, 06, 02, 9, 18, 00));
  }
  pinMode(trigPin1, OUTPUT);
  pinMode(echoPin1, INPUT);

```

```

pinMode(trigPin2, OUTPUT);
pinMode(echoPin2, INPUT);
pinMode(trigPin3, OUTPUT);
pinMode(echoPin3, INPUT);
pinMode(trigPin4, OUTPUT);
pinMode(echoPin4, INPUT);
pinMode(trigPin5, OUTPUT);
pinMode(echoPin5, INPUT);
pinMode(trigPin6, OUTPUT);
pinMode(echoPin6, INPUT);
pinMode(trigPin7, OUTPUT);
pinMode(echoPin7, INPUT);
// Set of Water Sensors
pinMode(36, INPUT);
pinMode(37, INPUT);
pinMode(38, INPUT);
pinMode(39, INPUT);
pinMode(40, INPUT);
pinMode(41, INPUT);
pinMode(42, INPUT);
// SD Card Initialization
Serial.print("Initializing SD card...");
// On the Ethernet Shield, CS is pin 4. It's set as an output by default.
// Note that even if it's not used as the CS pin, the hardware SS pin
// (10 on most Arduino boards, 53 on the Mega) must be left as an output
// or the SD library functions will not work.
pinMode(SS, OUTPUT);
if (!SD.begin(chipSelect)) {
  Serial.println("initialization failed!");
}

```

```

    return;
}
Serial.println("initialization done.");
}
// Loop and print the time every second.
void loop() {
    //Write Date and Time
    DateTime now = rtc.now();
    delay(1000);
    // open the file. note that only one file can be open at a time,
    // so you have to close this one before opening another.
    myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
    // if the file opened okay, write to it:
    if (myFile) {
        Serial.print("Writing to test.txt...");
        myFile.print(now.year(), DEC);
        myFile.print('/');
        myFile.print(now.month(), DEC);
        myFile.print('/');
        myFile.print(now.day(), DEC);
        myFile.print(" ");
        myFile.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);
        myFile.print(" ");
        myFile.print(now.hour(), DEC);
        myFile.print(':');
        myFile.print(now.minute(), DEC);
        myFile.print(':');
        myFile.print(now.second(), DEC);
        myFile.println();
    }
}

```

```
myFile.print("\t");  
  
// Moisture Sensors  
  
int ValueMoisture1 = map(analogRead(Moisture1),780,421,0,100);  
myFile.print("Value moisture 1: ");  
myFile.print(ValueMoisture1);  
myFile.print("\t");  
  
int ValueMoisture2 = map(analogRead(Moisture2),783,434,0,100);  
myFile.print("Value moisture 2: ");  
myFile.print(ValueMoisture2);  
myFile.print("\t");  
  
int ValueMoisture3 = map(analogRead(Moisture3),820,434,0,100);  
myFile.print("Value moisture 3: ");  
myFile.print(ValueMoisture3);  
myFile.print("\t");  
  
int ValueMoisture4 = map(analogRead(Moisture4),780,421,0,100);  
myFile.print("Value moisture 4: ");  
myFile.print(ValueMoisture4);  
myFile.print("\t");  
  
int ValueMoisture5 = map(analogRead(Moisture5),1,980,0,100);  
myFile.print("Value moisture 5: ");  
myFile.print(ValueMoisture5);  
myFile.print("\t");  
  
int ValueMoisture6 = map(analogRead(Moisture6),790,450,0,100);  
myFile.print("Value moisture 6: ");  
myFile.print(ValueMoisture6);  
myFile.print("\t");  
  
int ValueMoisture7 = map(analogRead(Moisture7),729,409,0,100);  
myFile.print("Value moisture 7: ");  
myFile.print(ValueMoisture7);
```

```
myFile.print("\t");

// Write the values of the sensors
SensorSonido(trigPin1,echoPin1);
Sensor1 = distancia;
myFile.print(Sensor1);
myFile.print("\t");

SensorSonido(trigPin2,echoPin2);
Sensor2 = distancia;
myFile.print(Sensor2);
myFile.print("\t");

SensorSonido(trigPin3,echoPin3);
Sensor3 = distancia;
myFile.print(Sensor3);
myFile.print("\t");

SensorSonido(trigPin4,echoPin4);
Sensor4 = distancia;
myFile.print(Sensor4);
myFile.print("\t");

SensorSonido(trigPin5,echoPin5);
Sensor5 = distancia;
myFile.print(Sensor5);
myFile.print("\t");

SensorSonido(trigPin6,echoPin6);
```

```

Sensor6 = distancia;
myFile.print(Sensor6);
myFile.print("\t");

SensorSonido(trigPin7,echoPin7);
Sensor7 = distancia;
myFile.print(Sensor7);
myFile.print("\t");

delay(60000);
//} else {

//Serial.println("No hay agua en los módulos, no se estan guardando datos");
//}
// close the file:
myFile.close();
Serial.println("done.");
} else {
// if the file didn't open, print an error:
Serial.println("error opening test.txt");
}
}

void SensorSonido(int trigPin, int echoPin)
{
digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);

```

```
duracion = pulseIn(echoPin, HIGH);  
distancia = (duracion/2)/2.91;  
}
```

C. Eventos de precipitación para el momento de estudio y datos climatológicos

Evento	Inicio	Precipitación (mm/módulo)	T prom (°C)	Humedad aire (%)	Rad. Solar (W/m2)	Velocidad del viento (m/s)	Intensidad de la precipitación estimada (mm/hora)	Tiempo antecedente seco (h)
01/10/2018	14:00	2,90	20,05	66,50	61,50	1,30	2,90	88
02/10/2018	3:00	1,70	10,60	76,00	0,00	2,30	1,70	11
02/10/2018	17:00	0,30	18,20	55,00	90,00	1,90	0,30	12
03/10/2018	6:00	0,10	8,90	80,00	4,00	0,40	0,10	12
03/10/2018	13:00	1,50	17,45	60,50	207,50	0,55	1,50	6
05/10/2018	21:00	5,50	14,35	78,05	102,31	1,48	5,50	54
10/10/2018	4:00	0,30	12,10	84,00	0,00	0,80	0,30	84
10/10/2018	14:00	0,30	15,42	74,25	135,00	1,55	0,30	9
11/10/2018	5:00	2,80	12,83	79,28	112,57	0,67	2,80	11
14/10/2018	14:00	17,00	14,20	73,00	67,50	1,15	17,00	74
15/10/2018	2:00	5,60	12,62	79,37	122,62	0,60	5,60	10
15/10/2018	16:00	1,90	14,58	76,00	19,83	1,60	1,90	6
18/10/2018	6:00	0,10	7,60	82,00	4,00	0,50	0,10	56
20/10/2018	13:00	0,40	18,50	61,00	245,00	3,70	0,40	54
20/10/2018	23:00	1,00	11,86	81,40	0,00	1,06	1,00	9
22/10/2018	16:00	1,40	14,69	77,17	19,67	1,52	1,40	36
23/10/2018	20:00	0,40	13,50	78,50	0,00	1,10	0,40	16
24/10/2018	8:00	1,60	15,68	73,20	316,80	0,70	1,60	10
25/10/2018	17:00	5,60	14,64	79,40	15,20	1,04	5,60	28
26/10/2018	12:00	5,30	17,17	68,25	215,50	1,07	5,30	14
03/11/2018	14:00	17,42	14,20	78,00	76,00	1,07	5,81	190
04/11/2018	0:00	0,20	9,60	85,16	0,00	0,53	0,10	7
04/11/2018	15:00	11,10	12,86	75,33	20,33	1,07	3,70	9
06/11/2018	4:00	1,00	12,10	83,00	0,00	0,40	1,00	34
07/11/2018	1:00	1,20	13,10	81,00	0,00	0,96	0,40	20
08/11/2018	18:00	1,30	14,76	76,37	0,25	1,27	0,43	36
09/11/2018	11:00	19,00	14,10	79,20	75,85	0,92	1,36	9
10/11/2018	13:00	15,90	13,78	83,78	44,67	0,69	1,77	6
13/11/2018	14:00	1,10	10,10	80,47	17,66	0,51	0,22	57
14/11/2018	17:00	12,30	14,90	68,00	74,00	0,60	6,15	10
15/11/2018	7:00	0,10	10,40	82,00	89,00	0,90	0,10	12
16/11/2018	18:00	0,70	15,40	80,30	4,00	0,97	0,35	34
17/11/2018	17:00	14,90	13,57	84,19	7,10	0,90	2,13	20
22/11/2018	14:00	18,40	15,78	77,25	68,50	1,82	3,68	106
24/11/2018	14:00	51,50	14,10	77,67	31,00	1,83	3,03	35
27/11/2018	23:00	3,20	12,48	82,83	0,00	0,65	0,53	65
28/11/2018	14:00	5,50	16,70	68,50	243,00	2,55	2,75	9
29/11/2018	14:00	1,60	18,05	65,00	122,50	2,20	0,80	22
30/11/2018	13:00	22,20	14,30	80,25	47,00	1,73	5,55	21
Promedio para el tiempo de estudio		254,32	13,98	76,18	68,20	1,19	2,45	33,38

Las barras de colores de las columnas: precipitación, temperatura, humedad del aire, radiación solar y velocidad del viento, indican la magnitud porcentual del parámetro respecto al de mayor valor como se muestra a continuación:

Los círculos los valores de intensidad de la precipitación estimada y el tiempo antecedente seco, indican la magnitud porcentual del parámetro respecto al de mayor valor como se muestra a continuación:

D. Resultados % de retención del agua lluvia para A+B

Evento	Precipitación (mm/módulo)	Percolación (mm)	Humedad relativa del suelo (%)	%Eficiencia de retención de agua lluvia
01/10/2018	2,90	0,004	11,42	99,856
02/10/2018	1,70	0,000	27,67	100,00
02/10/2018	0,30	0,000	11,28	100,00
03/10/2018	0,10	0,000	0,00	100,00
03/10/2018	1,50	0,000	18,80	100,00
05/10/2018	5,50	0,163	23,88	97,05
10/10/2018	0,30	0,000	0,00	100,00
10/10/2018	0,30	0,000	26,90	100,00
11/10/2018	2,80	0,000	38,54	100,00
14/10/2018	17,00	3,100	44,03	81,76
15/10/2018	5,60	0,000	0,00	100,00
15/10/2018	1,90	0,000	0,00	100,00
18/10/2018	0,10	0,000	51,07	100,00
20/10/2018	0,40	0,000	36,81	100,00
20/10/2018	1,00	0,000	35,74	100,00
22/10/2018	1,40	0,000	16,29	100,00
23/10/2018	0,40	0,000	14,63	100,00
24/10/2018	1,60	0,046	16,03	97,14
25/10/2018	5,60	0,000	33,21	100,00
26/10/2018	5,30	0,200	27,98	96,23
03/11/2018	17,42	1,433	18,31	91,77
04/11/2018	0,20	0,000	0,00	100,00
04/11/2018	11,10	8,838	0,00	20,38
06/11/2018	1,00	0,008	26,53	99,17
07/11/2018	1,20	0,000	24,07	100,00
08/11/2018	1,30	0,000	20,41	100,00
09/11/2018	19,00	13,800	13,92	27,37
10/11/2018	15,90	9,129	69,95	42,58
13/11/2018	1,10	0,033	29,21	96,97
14/11/2018	12,30	1,021	36,15	91,70
15/11/2018	0,10	0,000	32,27	100,00
16/11/2018	0,70	0,000	27,85	100,00
17/11/2018	14,90	2,642	33,23	82,27
22/11/2018	18,40	10,013	68,73	45,58
24/11/2018	51,50	46,867	70,24	9,00
27/11/2018	3,20	1,029	44,14	67,84
28/11/2018	5,50	0,113	47,33	97,95
29/11/2018	1,60	0,000	46,14	100,00
30/11/2018	22,20	12,500	53,69	43,69
Total /promedio	254,32	110,94	28,11	56,38
Las barras de colores de las columnas: precipitación, percolación y humedad relativa del aire, indican la magnitud porcentual del parámetro respecto al de mayor valor como se muestra a continuación:				
Los círculos del % de eficiencia de retención del agua lluvia se reflejan de la siguiente manera:				
Cuando el valor es >= 80%				
Cuando el valor es <80% y >=50%				
Cuando el valor es <50%				

E. Resultados de % de retención del agua lluvia para A+C

Evento	Precipitación (mm/módulo)	Percolación (mm)	Humedad relativa del suelo (%)	%Eficiencia de retención de agua lluvia
01/10/2018	2,90	0,000	11,99	100,00
02/10/2018	1,70	0,000	19,04	100,00
02/10/2018	0,30	0,000	13,69	100,00
03/10/2018	0,10	0,000	0,00	100,00
03/10/2018	1,50	0,000	23,02	100,00
05/10/2018	5,50	0,000	44,34	100,00
10/10/2018	0,30	0,000	0,00	100,00
10/10/2018	0,30	0,000	43,45	100,00
11/10/2018	2,80	0,000	53,26	100,00
14/10/2018	17,00	7,117	56,13	58,14
15/10/2018	5,60	0,000	0,00	100,00
15/10/2018	1,90	0,000	0,00	100,00
18/10/2018	0,10	0,000	58,35	100,00
20/10/2018	0,40	0,000	42,29	100,00
20/10/2018	1,00	0,000	40,02	100,00
22/10/2018	1,40	0,000	18,24	100,00
23/10/2018	0,40	0,000	19,39	100,00
24/10/2018	1,60	0,000	19,06	100,00
25/10/2018	5,60	0,000	35,76	100,00
26/10/2018	5,30	0,000	38,38	100,00
03/11/2018	17,42	1,046	48,36	94,00
04/11/2018	0,20	0,000	0,00	100,00
04/11/2018	11,10	8,975	0,00	19,14
06/11/2018	1,00	0,013	71,78	98,75
07/11/2018	1,20	0,004	66,86	99,65
08/11/2018	1,30	0,000	51,83	100,00
09/11/2018	19,00	17,904	61,20	5,77
10/11/2018	15,90	9,208	56,93	42,09
13/11/2018	1,10	0,050	49,04	95,45
14/11/2018	12,30	0,746	59,94	93,94
15/11/2018	0,10	0,000	54,29	100,00
16/11/2018	0,70	0,000	48,44	100,00
17/11/2018	14,90	14,546	58,10	2,38
22/11/2018	18,40	10,017	71,24	45,56
24/11/2018	51,50	50,458	71,70	2,02
27/11/2018	3,20	1,642	68,00	48,70
28/11/2018	5,50	0,167	34,14	96,97
29/11/2018	1,60	0,067	37,78	95,83
30/11/2018	22,20	14,292	46,86	35,62
Total /promedio	254,32	136,25	38,28	46,43
Las barras de colores de las columnas: precipitación, percolación y humedad relativa del aire, indican la magnitud porcentual del parámetro respecto al de mayor valor como se muestra a continuación:				
Los círculos del % de eficiencia de retención del agua lluvia se reflejan de la siguiente manera:				
Cuando el valor es $\geq 80\%$				
Cuando el valor es $<80\%$ y $\geq 50\%$				
Cuando el valor es $<50\%$				

F. Resultados de % de retención del agua lluvia para B+C

Evento	Precipitación (mm/módulo)	Percolación (mm)	Humedad relativa del suelo (%)	%Eficiencia de retención de agua lluvia
01/10/2018	2,90	0,079	10,61	97,27
02/10/2018	1,70	0,000	15,13	100,00
02/10/2018	0,30	0,000	11,38	100,00
03/10/2018	0,10	0,000	0,00	100,00
03/10/2018	1,50	0,000	21,23	100,00
05/10/2018	5,50	0,000	26,09	100,00
10/10/2018	0,30	0,000	0,00	100,00
10/10/2018	0,30	0,000	22,99	100,00
11/10/2018	2,80	0,000	31,63	100,00
14/10/2018	17,00	2,008	32,28	88,19
15/10/2018	5,60	0,000	0,00	100,00
15/10/2018	1,90	0,000	0,00	100,00
18/10/2018	0,10	0,000	26,45	100,00
20/10/2018	0,40	0,000	15,38	100,00
20/10/2018	1,00	0,000	20,80	100,00
22/10/2018	1,40	0,004	17,81	99,70
23/10/2018	0,40	0,000	24,20	100,00
24/10/2018	1,60	0,000	20,88	100,00
25/10/2018	5,60	0,000	24,45	100,00
26/10/2018	5,30	0,000	33,34	100,00
03/11/2018	17,42	2,854	65,59	83,61
04/11/2018	0,20	0,000	0,00	100,00
04/11/2018	11,10	10,088	0,00	9,12
06/11/2018	1,00	0,221	46,58	77,92
07/11/2018	1,20	0,000	41,03	100,00
08/11/2018	1,30	0,000	36,39	100,00
09/11/2018	19,00	18,900	40,71	0,53
10/11/2018	15,90	9,404	78,53	40,85
13/11/2018	1,10	0,029	73,03	97,35
14/11/2018	12,30	1,350	79,38	89,02
15/11/2018	0,10	0,000	76,73	100,00
16/11/2018	0,70	0,000	65,45	100,00
17/11/2018	14,90	5,154	78,11	65,41
22/11/2018	18,40	10,621	88,17	42,28
24/11/2018	51,50	47,692	88,74	7,39
27/11/2018	3,20	2,013	82,91	37,11
28/11/2018	5,50	0,175	85,53	96,82
29/11/2018	1,60	0,013	83,53	99,22
30/11/2018	22,20	14,067	87,19	36,64
Total /promedio	254,32	124,67	39,80	50,98
Las barras de colores de las columnas: precipitación, percolación y humedad relativa del aire, indican la magnitud porcentual del parámetro respecto al de mayor valor como se muestra a continuación:				
Los círculos del % de eficiencia de retención del agua lluvia se reflejan de la siguiente manera:				
Cuando el valor es $\geq 80\%$				
Cuando el valor es $<80\%$ y $\geq 50\%$				
Cuando el valor es $<50\%$				





G. Resultados de % de retención del agua lluvia para B

Evento	Precipitación (mm/módulo)	Percolación (mm)	Humedad relativa del suelo (%)	%Eficiencia de retención de agua lluvia
01/10/2018	2,90	0,13	0,00	95,69
02/10/2018	1,70	0,00	0,00	100,00
02/10/2018	0,30	0,00	0,00	100,00
03/10/2018	0,10	0,00	0,00	100,00
03/10/2018	1,50	0,00	0,00	100,00
05/10/2018	5,50	0,17	53,46	96,89
10/10/2018	0,30	0,00	0,00	100,00
10/10/2018	0,30	0,00	87,41	100,00
11/10/2018	2,80	0,50	96,01	82,14
14/10/2018	17,00	5,52	100,00	67,55
15/10/2018	5,60	0,00	0,00	100,00
15/10/2018	1,90	0,00	0,00	100,00
18/10/2018	0,10	0,00	98,61	100,00
20/10/2018	0,40	0,00	82,31	100,00
20/10/2018	1,00	0,00	82,49	100,00
22/10/2018	1,40	0,00	71,62	100,00
23/10/2018	0,40	0,00	76,01	100,00
24/10/2018	1,60	0,08	81,13	94,79
25/10/2018	5,60	0,00	99,07	100,00
26/10/2018	5,30	1,20	100,00	77,36
03/11/2018	17,42	1,59	37,50	90,86
04/11/2018	0,20	0,00	0,00	100,00
04/11/2018	11,10	10,85	0,00	2,29
06/11/2018	1,00	0,07	85,98	93,33
07/11/2018	1,20	0,03	90,14	97,57
08/11/2018	1,30	0,01	85,33	99,36
09/11/2018	19,00	8,60	68,71	54,71
10/11/2018	15,90	9,46	77,73	40,49
13/11/2018	1,10	0,00	69,07	99,62
14/11/2018	12,30	1,04	71,04	91,53
15/11/2018	0,10	0,00	78,47	100,00
16/11/2018	0,70	0,00	55,71	100,00
17/11/2018	14,90	6,31	81,36	57,66
22/11/2018	18,40	9,60	98,04	47,80
24/11/2018	51,50	49,58	97,03	3,73
27/11/2018	3,20	1,74	98,27	45,57
28/11/2018	5,50	0,17	92,80	96,97
29/11/2018	1,60	0,00	85,75	100,00
30/11/2018	22,20	12,55	92,76	43,45
Total /promedio	254,32	119,204	61,38	53,13
Las barras de colores de las columnas: precipitación, percolación y humedad relativa del aire, indican la magnitud porcentual del parámetro respecto al de mayor valor como se muestra a continuación:				
100%	80%	60%	40%	20%
Los círculos del % de eficiencia de retención del agua lluvia se reflejan de la siguiente manera:				
Quando el valor es >= 80%		100%		
Quando el valor es <80% y >=50%		100%		
Quando el valor es <50%		100%		

H. Resultados del % de retención del agua lluvia para C

Evento	Precipitación (mm/módulo)	Percolación (mm)	Humedad relativa del suelo (%)	%Eficiencia de retención de agua lluvia
01/10/2018	2,90	0,00	23,39	100,00
02/10/2018	1,70	0,00	27,06	100,00
02/10/2018	0,30	0,00	15,97	100,00
03/10/2018	0,10	0,00	0,00	100,00
03/10/2018	1,50	0,00	17,35	100,00
05/10/2018	5,50	0,10	27,37	98,11
10/10/2018	0,30	0,00	0,00	100,00
10/10/2018	0,30	0,00	19,94	100,00
11/10/2018	2,80	0,05	34,74	98,21
14/10/2018	17,00	3,88	73,67	77,21
15/10/2018	5,60	0,00	0,00	100,00
15/10/2018	1,90	0,00	0,00	100,00
18/10/2018	0,10	0,00	47,14	100,00
20/10/2018	0,40	0,00	26,43	100,00
20/10/2018	1,00	0,00	29,19	100,00
22/10/2018	1,40	0,31	21,77	77,68
23/10/2018	0,40	0,00	24,44	100,00
24/10/2018	1,60	0,02	19,20	98,96
25/10/2018	5,60	0,00	46,39	100,00
26/10/2018	5,30	0,63	53,01	88,13
03/11/2018	17,42	2,65	83,35	84,81
04/11/2018	0,20	0,00	0,00	100,00
04/11/2018	11,10	3,88	0,00	65,09
06/11/2018	1,00	0,02	82,19	98,33
07/11/2018	1,20	0,00	79,97	100,00
08/11/2018	1,30	0,00	75,73	100,00
09/11/2018	19,00	3,53	81,24	81,43
10/11/2018	15,90	3,22	51,20	79,74
13/11/2018	1,10	0,00	82,50	100,00
14/11/2018	12,30	0,33	72,58	97,32
15/11/2018	0,10	0,00	69,93	100,00
16/11/2018	0,70	0,00	75,87	100,00
17/11/2018	14,90	1,38	76,77	90,72
22/11/2018	18,40	2,38	76,66	87,05
24/11/2018	51,50	6,18	74,54	88,00
27/11/2018	3,20	1,67	69,61	47,79
28/11/2018	5,50	0,15	70,78	97,35
29/11/2018	1,60	0,02	70,83	98,96
30/11/2018	22,20	2,13	68,80	90,39
Total /promedio	254,32	32,52	45,38	87,21
Las barras de colores de las columnas: precipitación, percolación y humedad relativa del aire, indican la magnitud porcentual del parámetro respecto al de mayor valor como se muestra a continuación:				
Los círculos del % de eficiencia de retención del agua lluvia se reflejan de la siguiente manera:				
Cuando el valor es $\geq 80\%$				
Cuando el valor es $<80\%$ y $\geq 50\%$				
Cuando el valor es $<50\%$				

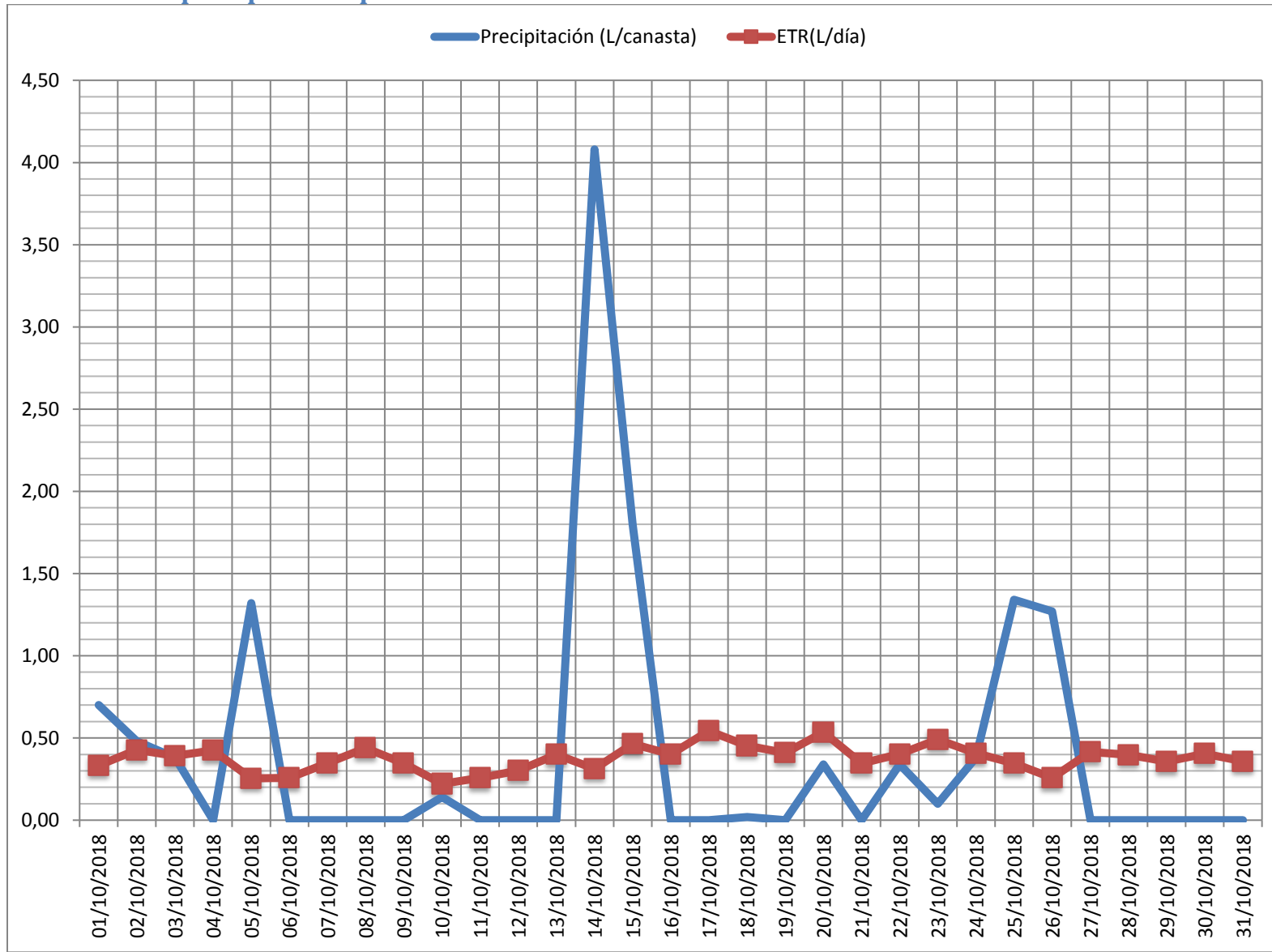
J. Resultados de % de retención del agua lluvia para A

Evento	Precipitación (mm/módulo)	Percolación (mm)	Humedad relativa del suelo (%)	%Eficiencia de retención de agua lluvia
01/10/2018	2,90	0,01	18,07	99,71
02/10/2018	1,70	0,00	27,48	100,00
02/10/2018	0,30	0,00	19,31	100,00
03/10/2018	0,10	0,00	0,00	100,00
03/10/2018	1,50	0,00	29,41	100,00
05/10/2018	5,50	0,31	44,39	94,32
10/10/2018	0,30	0,00	0,00	100,00
10/10/2018	0,30	0,00	59,41	100,00
11/10/2018	2,80	0,30	57,50	89,29
14/10/2018	17,00	6,71	79,20	60,54
15/10/2018	5,60	0,00	0,00	100,00
15/10/2018	1,90	0,00	0,00	100,00
18/10/2018	0,10	0,00	80,67	100,00
20/10/2018	0,40	0,00	66,16	100,00
20/10/2018	1,00	0,00	63,44	100,00
22/10/2018	1,40	0,30	37,69	78,57
23/10/2018	0,40	0,00	24,65	100,00
24/10/2018	1,60	0,05	25,35	97,14
25/10/2018	5,60	0,00	40,88	100,00
26/10/2018	5,30	0,38	42,52	92,77
03/11/2018	17,42	1,33	34,62	92,39
04/11/2018	0,20	0,00	0,00	100,00
04/11/2018	11,10	10,25	0,00	7,66
06/11/2018	1,00	0,15	33,81	85,42
07/11/2018	1,20	0,02	32,68	98,26
08/11/2018	1,30	0,00	30,12	100,00
09/11/2018	19,00	14,27	24,31	24,91
10/11/2018	15,90	9,56	71,60	39,88
13/11/2018	1,10	0,05	71,23	95,45
14/11/2018	12,30	0,95	78,42	92,24
15/11/2018	0,10	0,02	74,88	79,17
16/11/2018	0,70	0,00	74,05	100,00
17/11/2018	14,90	12,93	78,90	13,23
22/11/2018	18,40	13,78	91,83	25,09
24/11/2018	51,50	49,32	92,50	4,24
27/11/2018	3,20	1,46	87,12	54,30
28/11/2018	5,50	0,39	65,12	92,88
29/11/2018	1,60	0,02	63,89	98,70
30/11/2018	22,20	12,81	78,64	42,29
Total /promedio	254,32	135,37	46,15	46,77
Las barras de colores de las columnas: precipitación, percolación y humedad relativa del aire, indican la magnitud porcentual del parámetro respecto al de mayor valor como se muestra a continuación:				
				
Los círculos del % de eficiencia de retención del agua lluvia se reflejan de la siguiente manera:				
Cuando el valor es $\geq 80\%$				
Cuando el valor es $<80\%$ y $\geq 50\%$				
Cuando el valor es $<50\%$				

K. Resultados del % de retención del agua lluvia para el módulo control (sustrato)

Evento	Precipitación (mm/módulo)	Percolación (mm)	Humedad relativa del suelo (%)	%Eficiencia de retención de agua lluvia
01/10/2018	2,90	0,05	15,49	98,276
02/10/2018	1,70	0,00	23,23	100,000
02/10/2018	0,30	0,00	18,08	100,000
03/10/2018	0,10	0,00	0,00	100,000
03/10/2018	1,50	0,00	30,57	100,000
05/10/2018	5,50	0,00	55,15	99,924
10/10/2018	0,30	0,00	0,00	100,000
10/10/2018	0,30	0,00	67,97	100,000
11/10/2018	2,80	0,14	82,60	95,089
14/10/2018	17,00	8,11	95,45	52,304
15/10/2018	5,60	0,00	0,00	100,000
15/10/2018	1,90	0,00	0,00	100,000
18/10/2018	0,10	0,00	96,56	100,000
20/10/2018	0,40	0,00	54,24	100,000
20/10/2018	1,00	0,00	50,76	100,000
22/10/2018	1,40	0,27	48,49	80,655
23/10/2018	0,40	0,00	35,79	100,000
24/10/2018	1,60	0,00	27,23	99,740
25/10/2018	5,60	0,00	85,29	100,000
26/10/2018	5,30	0,00	99,46	100,000
03/11/2018	17,42	1,71	53,23	90,167
04/11/2018	0,20	0,00	0,00	100,000
04/11/2018	11,10	5,35	0,00	51,802
06/11/2018	1,00	0,04	97,19	95,833
07/11/2018	1,20	0,00	56,01	100,000
08/11/2018	1,30	0,00	0,00	100,000
09/11/2018	19,00	19,00	0,00	0,000
10/11/2018	15,90	0,00	70,53	100,000
13/11/2018	1,10	0,00	73,08	100,000
14/11/2018	12,30	0,53	87,41	95,664
15/11/2018	0,10	0,00	84,93	100,000
16/11/2018	0,70	0,00	61,51	100,000
17/11/2018	14,90	13,84	90,88	7,131
22/11/2018	18,40	16,03	96,20	12,862
24/11/2018	51,50	48,50	96,13	5,817
27/11/2018	3,20	2,43	97,74	24,089
28/11/2018	5,50	0,04	99,20	99,318
29/11/2018	1,60	0,03	98,92	98,177
30/11/2018	22,20	16,23	97,95	26,914
Total /promedio	254,32	132,31	55,06	47,975
Las barras de colores de las columnas: precipitación, percolación y humedad relativa del aire, indican la magnitud porcentual del parámetro respecto al de mayor valor como se muestra a continuación:				
Los círculos del % de eficiencia de retención del agua lluvia se reflejan de la siguiente manera:				
Cuando el valor es >= 80%				
Cuando el valor es <80% y >=50%				
Cuando el valor es <50%				

L. ETR Vs precipitación para el mes de Octubre



M. ETR Vs precipitación para el mes de Noviembre

