



**FORMATO
FICHA GENERAL PROYECTOS**

Código: 127-FOREE-01
Versión: 2
Vigencia desde: 12/10/2017

PROCESO: ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN DEL OBSERVATORIO Y LA POLÍTICA DE ESPACIO PÚBLICO DE BOGOTÁ **DOCUMENTO: INSTRUCTIVO GRUPO DE ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN DEL OBSERVATORIO Y LA POLÍTICA DE ESPACIO PÚBLICO DE BOGOTÁ**

De requerirse la impresión del presente formato una vez haya sido diligenciado, verifique que se visualice en su totalidad la información contenida en cada celda. De ser necesario amplíe el área de éstas hacia abajo.

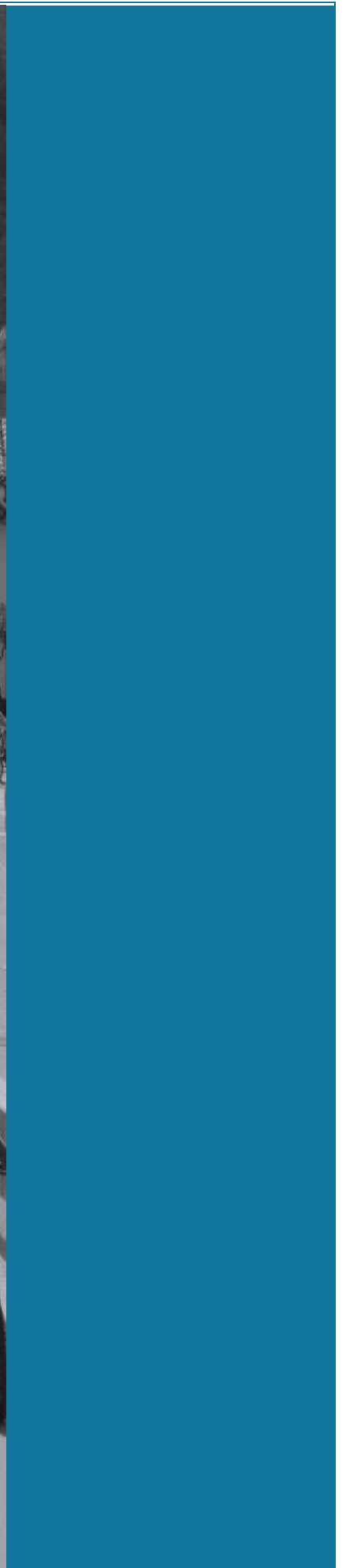
1. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

TÍTULO PROYECTO						
NÚMERO PROYECTO	DURACIÓN DEL PROYECTO (en meses)	12	FECHA INICIO	1 MARZO 2014	FECHA FINALIZACIÓN	1 MARZO 2015
TIPO DE PROYECTO	TECHOS VERDES SOBRE PARADEROS DE BUS DE BOGOTÁ		LINEA DE INVESTIGACIÓN DEL DADEP	Generación, sostenibilidad y recuperación del espacio público		

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

RESUMEN PROYECTO (200 PALABRAS)	Este proyecto diseñó y construyó 28 paraderos con cubiertas vegetadas (techos verdes) en la ciudad de Bogotá, parte de los cuales fueron usados como individuos de investigación sobre algunos de los beneficios ambientales asociados a la implementación de infraestructura verde sobre el mobiliario de la ciudad. El estudio tuvo una duración de 12 meses donde se analizó la capacidad de los paraderos verdes para: establecerse y vivir sin mantenimiento, capacidad de producción de oxígeno y captura de dióxido de carbono, capacidad de captura y degradación de material particulado, bioacumulación de metales pesados, filtración de metales pesados por el sustrato, manejo de aguas lluvia e impacto social.
ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA / ESTADO DEL ARTE (800 PALABRAS)	Los techos verdes (TV) pueden contribuir significativamente en el desarrollo de ciudades más sostenibles, gracias a características inherentes que su funcionamiento supone y que tienen un efecto positivo sobre el medio ambiente. Dichas mejoras están relacionadas con la reducción del consumo energético de los edificios donde son instalados, mejoras en la calidad del aire y el agua, conservación de la biodiversidad, reducción del efecto isla de calor y el calentamiento global entre otros ^{1,2,3} . Definiremos paradero verde (PV) como el sistema de TV que permite la extensión de vegetación sobre la cubierta de mobiliario urbano M10. Su funcionamiento y composición son parcialmente diferentes a las de un jardín convencional, dadas en resumen limitaciones de peso, espacio para el desarrollo radicular, alta irradiación solar, estrés eólico y poca disponibilidad de agua y nutrientes. Dos avances tecnológicos desarrollados por Sustentar Soluciones Verdes S.A.S dieron solución a las limitaciones anteriormente mencionadas en los PV. Un sustrato ultraliviano de apenas 23 kg/m ² capaz de retener 53% de su volumen en agua (Tabla 2) y la lamina drenante Oasis 5-01 capaz de capturar 5 L/m ² de agua lluvia. La combinación de ambas tecnologías ha demostrado ser suficiente, al menos en la ciudad de Bogotá, para mantener coberturas extensivas saludables, altamente sostenibles y con mínimos requerimientos hídricos y de mantenimiento. Distintos estudios han demostrado los beneficios ambientales y sobre la salud humana que ofrecen los TV, justificando con creces sus costos de implementación y mantenimiento ¹⁹ . Este estudio, primero en el mundo en cuantificar beneficios asociados a la implementación de TV sobre el mobiliario urbano en la ciudad de Bogotá, demostrará que esta iniciativa trasciende el valor estético y económico, al brindar servicios de reparación ambiental para la ciudad. Con el paso de los años se ha evidenciado un constante deterioro de la calidad del aire, que las autoridades ambientales y de salud pública, basadas en la información proveniente del RMCAB han tratado de reparar sin mayor éxito. El acelerado crecimiento económico exige mayores consumos energéticos y de combustibles fósiles, lo cual, opaca las medidas ambientales implementadas para retroceder la contaminación del aire que respiramos.
PREGUNTA / PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS (50 PALABRAS)	El objetivo de este estudio es evaluar: I. El potencial de cada paradero verde de retener material particulado total (MP _{2,5} , MP ₁₀). II. La bioacumulación de arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg) y níquel (Ni) por parte de una especie vegetal de la familia Crassulaceae instalada en los paraderos verdes. III. El potencial de captura de cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni) por parte del sustrato de los PV. IV. La capacidad de retención de agua lluvia del PV, así como un análisis hídrico del sistema. V. La captura de dióxido de carbono (CO ₂) por parte de 2 especies de la familia Crassulaceae instaladas y de la vegetación exógena del sistema y su correspondiente estimación de oxígeno (O ₂) producido por los paraderos verdes. VI. La evaluación del impacto social de la infraestructura verde para los habitantes de la ciudad de Bogotá. VII. análisis de manejo de agua lluvia y sostenibilidad hídrica
JUSTIFICACIÓN (500 PALABRAS)	El material particulado (MP) podría definirse como partículas microscópicas de diferente procedencia y composición que por su peso y tamaño oscilante entre 2,5µm (MP _{2,5}) y 10µm (MP ₁₀) permanecen suspendidas en el aire. El MP es fácilmente respirado y por ende se considera un serio problema de salud pública por la organización mundial de la salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ⁸ . Las concentraciones de MP en el aire que se respira en la ciudad de Bogotá, exceden hasta en un 45% los límites establecidos por la reglamentación ambiental de la ciudad, posicionando el MP ₁₀ como el principal contaminante del aire capitalino ⁹ , razón por la cual las políticas de control ambiental deberían estar dirigidas a estimular estrategias, como la implementación de TV, para atenuar la anormal presencia de este contaminante en el aire. ⁴ Otra fuente de contaminación encontrada en el aire son los metales pesados. Mercurio, níquel, cadmio, plomo, berilio, antimonio y cromo procedentes mayoritariamente de la combustión fósil y la actividad industrial, son fácilmente arrastrados por el viento e introducidos en el cuerpo por las vías respiratorias, convirtiéndolos en un problema en salud pública por su gran toxicidad ⁵⁻⁶ . El cromo, el cadmio y el mercurio, por ejemplo, son considerados carcinogénicos por la OMS; mientras el plomo y el mercurio alarman por su neurotoxicidad, daño renal irreversible, aparición de anemia, afección pulmonar, y afecciones del sistema óseo ⁷⁻⁸ . Como un agravante adicional, los metales pesados no pueden ser degradados pues se encuentran en su forma elemental en el ambiente, sin embargo su anormal número en la atmósfera resulta tóxica para muchos animales, incluido el ser humano. Sin embargo como será demostrado en adelante, estos pueden ser bioacumulados en los PV de Bogotá. El manejo del agua y el cambio de la permeabilidad del suelo de las ciudades a medida que se construye y pavimentada, es uno de los factores determinantes en los cambios del ciclo de este elemento en las grandes ciudades, lo cual tiene un efecto directo sobre el calentamiento global, los desastres naturales causados por tormentas y la calidad de este fluido. El sustrato y el sistema constructivo de un TV tienen la capacidad de retener agua lluvia, hasta en un 60% de su volumen ¹ . Una parte de esta agua quedará en el sistema constructivo disponible para las plantas mientras que otra será liberada lentamente por el sistema. La capacidad de retención hídrica de los PV es de vital importancia en la descongestión de los sistemas de alcantarillado por las ciudades en eventos de lluvias torrenciales que representan riesgo de inundación. ^{1,10,11} Como es conocido, el calentamiento global es causado en gran medida por las cantidades de dióxido de carbono (CO ₂) y otros gases de efecto invernadero emitidas a la atmósfera, además la materialidad con la que se construyen las ciudades incrementa considerablemente la capacidad térmica de los entornos urbanos (efecto isla de calor) con consecuencias alarmantes para el planeta entero. La fotosíntesis de la vegetación sobre los PV participa directamente en el ciclo natural del carbono (C) y del oxígeno (O ₂), contribuyendo positivamente en la disminución del efecto invernadero y el efecto isla de calor, considerados los principales actores del calentamiento global. ¹²⁻¹³
OBJETIVO GENERAL	Definir la viabilidad de la construcción de paraderos verdes para la ciudad, en tanto sea demostrado que estos son importantes para el desarrollo sostenible de Bogotá por los beneficios ambientales que representan, específicamente sobre la biodegradación de material particulado, bioacumulación de metales pesados, producción de oxígeno, captura de dióxido de carbono e impacto social.
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1. Diseñar un sistema de techo verde funcional para instalar sobre los paraderos de bus de la ciudad de Bogotá. 2. El potencial de cada paradero verde de retener material particulado total (MP _{2,5} , MP ₁₀). 3. La bioacumulación de arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg) y níquel (Ni) por parte de una especie vegetal de la familia Crassulaceae instalada en los paraderos verdes. 4. El potencial de captura de cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni) por parte del sustrato de los PV. 5. La capacidad de retención de agua lluvia del PV, así como un análisis hídrico del sistema. 6. La captura de dióxido de carbono (CO ₂) por parte de 2 especies de la familia Crassulaceae instaladas y de la vegetación exógena del sistema y su correspondiente estimación de oxígeno (O ₂) producido por los paraderos verdes. 7. La evaluación del impacto social de la infraestructura verde para los habitantes de la ciudad de Bogotá. 8. análisis de manejo de agua lluvia y sostenibilidad hídrica
METODOLOGÍA PROYECTO (500 PALABRAS)	Dos (2) paraderos en 4 secciones diferentes de la ciudad de Bogotá (Figura 1) se usaron para la instalación del sistema de techo verde extensivo ultraliviano. El total de 8 paraderos designados a esta investigación, su posición geográfica, datos ambientales y viales se exponen en la tabla 1. Los paraderos de la calle 67 (C67) en la localidad de Chapinero y del Centro Internacional (CI) en la localidad Santa Fe se encuentran sobre el eje de la carrera séptima a la altura de las calles 67 y 30 respectivamente. Por otro lado, los paraderos del Portal del Dorado en la localidad de Engativá, están ubicados en la calle 26 en ambos costados del acceso de la estación de Transmilenio Portal Dorado. Por último, los paraderos de la Avenida Primero de Mayo (1M), localidad Kennedy, se ubican sobre esta avenida a la altura de la calle 71D. CAPTURA DE MATERIAL PARTICULADO Se empleó una prueba gravimétrica para medir el peso del material particulado total que por gravedad o por el efecto de vientos y/o lluvias es depositado sobre los paraderos verdes. Dos trampas cilíndricas para material particulado fueron instaladas en cada uno de los 8 paraderos. La trampa consiste en un filtro de celulosa grado 3 de 65 g/m ² atrapado en un tubo de PVC sobre el cual se deposita el material particulado total a través del tiempo. BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN VEGETACIÓN Una muestra de 250 gr de S. rupestre, perteneciente al lote de plantas sembradas en los TV de los paraderos fue usada para determinar la concentración inicial de los diferentes metales pesados en sus tejidos en el momento de la instalación y un año después. ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN SUSTRATO Las concentraciones iniciales y finales de metales pesados (Cd, Cr, Pb, Hg, Ni), fueron medidas en una muestra de 500 gr de sustrato, tomada de los 4 sitios de estudio (CI, 1M, C67, PD) en el mes de marzo de 2014 y 2015 respectivamente. SUSTRATO El sustrato de los paraderos verdes se diseñó con características muy distintas al usado en la mayoría de TV extensivos o intensivos, en especial por su peso ultraliviano y capacidad de drenaje ultra rápida, capaz de mantener las plantas en perfecto estado a lo largo del tiempo. MEDICIÓN DEL STOCK DE CARBONO Y PRODUCCIÓN DE OXÍGENO Esta parte del estudio cuantificó el potencial que tienen las plantas instaladas y las plantas que aparecieron (malezas) en el sistema de TV sobre los paraderos de capturar por medio de la reacción de la fotosíntesis dióxido de carbono CO ₂ y liberar oxígeno O ₂ por medio de El centro agroforestal mundial que ha estandarizado protocolos para medir la cantidad de carbono presente en un lugar determinado como una medida de bienestar ambiental e indicador de sostenibilidad. ¹⁴ IMPACTO SOCIAL La infraestructura verde y sus beneficios asociados son un tema completamente desconocido por grandes porciones de la población colombiana. En esta parte del estudio se realizó una encuesta en los 4 sitios de investigación, de la mano del equipo de control y vigilancia del aprovechamiento económico de la Defensoría del Espacio Público (DADEP). Un total de 960 personas entre hombres y mujeres con edad promedio de 33 años y distintos niveles de escolaridad (primaria: 8%, bachillerato: 46%, técnico: 23% y universitario o superior: 23%), fueron indagados sobre su conocimiento acerca de este tipo de sistemas y sus beneficios ambientales, pero también para saber la aceptación o rechazo que tenían a este tipo de iniciativas.

ALCANCE	<p>Evaluar el impacto ambiental de techos verdes sobre el mobiliario urbano de Bogotá con la finalidad última de justificar la instalación de estos apraderos verdes en toda la ciudad de Bogotá. Este estudio logra demostrar que los techos verdes son una solución viable para mitigar varios problemas medioambientales, y sus repercusiones en la salud pública. Los techos verdes sobre los paraderos de bus funcionan como un biofiltro capaz de capturar 4,53g de metales pesados por año, que supondría capturar 7 Kg de metales pesados si se implementaran en todos los paraderos de la ciudad. Los TV tiene potencial de capturar 4,6kg de material particulado por año. Esto equivale al material emitido por el desplazamiento a lo largo de 26 ml km de un vehículo estándar.25</p> <p>El potencial de filtración de los paradero aumenta con los metales pesados, ya que éstos no solo son retenidos por el sustrato, sino que también son bioacumulados en el tejido vegetal. Sorpresivamente se evidencia la gran capacidad que tienen las plantas de la familia Crassulaceae, para bioacumular metales pesados. Además de solucionar problemas localizados de contaminación, como el observado en el PD, donde los paraderos mostraron concentraciones de Pb que excedían las encontradas en los otros sitios de estudio. Por otra parte se concluye que la vegetación escogida es la adecuada, pues sus características genéticas y de adaptación ecológica permitieron su estabilidad, establecimiento y durabilidad en el tiempo. Esto sucedió, pese a la baja fertilidad, los altos índices de contaminación, la falta de riego y la adversidad climática de los puntos de estudio. Los TV participan también activamente en el ciclo del carbón, y tienen producciones netas de oxígeno mayores a las emitidas por la misma área de la vegetación usualmente encontrada en la ciudad (pastos, plantas de porte medio o plantas C3)</p> <p>En el caso en que se decidiesen instalar TV en paraderos de la malla vial de la ciudad, se mejoraría la calidad de su ambiente como se observó en la tabla 6</p> <p>De 960 personas encuestadas, 662 ignoraban estar en un paradero verde y sus beneficios, indicando un alto nivel de desconocimiento sobre el tema. Los encuestados consideraron que propuestas como los paraderos verdes mejoran el medio ambiente (88%), generan conciencia ciudadana (76%) y sentido de pertenencia (80%). Por ende es importante incrementar su número y llevar a cabo acciones pedagógicas, donde se haga énfasis en los beneficios demostrados en este artículo para el medio ambiente de la ciudad.</p>																																																																																																																		
RESULTADOS ESPERADOS	<p>Los resultados de este estudio justifican con creces la implementación de techos verdes sobre los paraderos de bus de Bogotá que tiene un potencial aproximado de 14.500 m2 para construir infraestructura verde que permita el desarrollo sostenible de la ciudad para combatir el cambio climático. La infraestructura verde, representada en cubiertas verdes es una estrategia adecuada para otorgar beneficios ambientales, con una inversión muy pequeña y cero costos de mantenimiento.</p>																																																																																																																		
APLICACIÓN DE RESULTADOS ESPERADOS	<p>1. State of the art analysis of the environmental benefits of Green roofs. Umberto Berardi, AmirHossein GhaffarianHoseini, Ali GhaffarianHoseini. Applied Energy Journal. Diciembre 2013</p> <p>2. Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth. Nicholas D. VanWoert, D. Bradley Rowe, Jeffrey A. Andresen, Clayton L. Rugh, R. Thomas Fernandez, and Lan Xiao. Journal of environmental quality 34:1036-1044 Noviembre 2005.</p> <p>3. Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs. KRISTIN L. GETTER, D. BRADLEY ROWE, G. PHILIP ROBERTSON, BERT M. CREGG, AND JEFFREY A. ANDRESEN. Environmental Science Technology. Agosto 2009</p> <p>4. Evaluación del estado de la calidad del aire en Bogotá. M. Gaitan, E. Behrenz. Grupo de estudios en sostenibilidad urbana (SUR). Departamento de ingeniería civil, Universidad de Los Andes. Bogotá, Colombia. 2009</p> <p>5. Mauricio Velazco G. La calidad del aire asociado con metales pesados en la ciudad de Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 2005.</p> <p>6. Cadmium and cadmium compounds. En: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 58, beryllium, cadmium, mercury and exposures in the glass manufacturing industry. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1993.</p> <p>7. Chromium and chromium compounds. monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 49, Chromium, Nickel and Welding. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1990.</p> <p>8. Metales pesados (Pb, Cd, Cr Y Hg) en población general adulta próxima a una planta de tratamiento de residuos urbanos de Biskaiia. Miren Begoña, Zubero Oleagoitia, et al. Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.</p> <p>9. Material particulado, el rey de los contaminantes de Bogotá. Artículo impreso diario ADN de Bogotá. 3 de marzo de 2013.</p> <p>10. Sun T, Bou-Zeid E, Wang ZH, Zeng E, Ni GH. Hydrometeorological determinants of green roof performance via a vertically-resolved model for heat and water transport. Build Environ 2013;60:211-24</p> <p>11. Berndsson JC. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. Ecol Eng 2010;36:351-60.</p> <p>12. Berardi U. Clarifying the new interpretations of the concept of sustainable building. Sustain Cities Soc 2013;8(1):72-8.</p> <p>13. Saadatian O, Sopian K, Salleh E, Lim CH, Riffat S, Saadatian E, et al. A review of energy aspects of green roofs. Renew Sustain Energy Rev 2013;23:155-68.</p> <p>14. A manual. Measuring carbon stocks. Across land use system. Kurniatun Hairiah, Sonya Dewi, Fahmuddin Agus, Sandra Velarde, Andree Ekadriana, Subekti Rahayu and Meine van Noordwijk. World agroforestry center.</p> <p>15. Pers com. Datos de emisiones de vehículo Mazda.</p> <p>16. Informe estadístico de paraderos verdes de Bogotá. Equipo de control y vigilancia en la aplicabilidad al marco regulatorio del aprovechamiento económico del espacio público del DADEP. Alcaldía Mayor e Bogotá.</p> <p>17. Technical data sheet Bauder intensive substrate. 22-05-2014. Tomado de www.bauder.co.uk/assets/b/a/bauder-intensive-substrate.pdf</p> <p>18. Landtech soil. Urban tech solutions. Ficha técnica de sustratos tomado de: http://www.landtechsoils.ie/wp-content/uploads/2014/09/Green-Roof-Substrates-Specification-...Irish.pdf</p> <p>19. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. Open Access funded by The Gulf Organisation for Research and Development. Bajo licencia Creative Commons</p> <p>20. JAMES A. TEEPE, MATTHEW TURNER, AND JESSICA GUREVITCH The Response of Leaf Water Potential and Crassulacean Acid Metabolism to Prolonged Drought in Sedum rubrotinctum. Plant Physiology (1986).</p> <p>21. Loer SA, Scherer TW, Tarrow J. How much oxygen does the human lung consume? Anesthesiology. 1997 Mar;86(3):532-7. PubMed PMID: 9066318.</p> <p>22. Guan DS, Chen YJ. Roles of urban vegetation on balance of carbon and oxygen in Guangzhou, China. J Environ Sci (China). 2003 Mar;15(2):155-9.</p> <p>23. Tortajada, J. F., Castell, J. G., Andreu, J. L., Domínguez, F. G., García, J. O., Tornero, O. B., & Conesa, A. C. (2001). Enfermedades asociadas a la contaminación atmosférica por combustibles fósiles. Aspectos pediátricos. Rev Esp Pediatr, 57(3), 213-225.</p> <p>24. Beza Fadih, Luis, y Hernandez Hernandez, Liliana. Determinación de metales pesados en materia fecal de aves a través de la identificación de fuentes de emisión, a partir de un muestreo atmosférico en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá. Tesis de</p>																																																																																																																		
BIBLIOGRAFIA	<p>3. INVESTIGADORES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ROL</th> <th>No. DOCUMENTO IDENTIFICACIÓN</th> <th>NOMBRES Y APELLIDOS</th> <th>PROFESIÓN</th> <th>NIVEL DE FORMACIÓN</th> <th>No. DE CONTRATO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Investigador líder</td> <td>80880794</td> <td>JAVIER FELIPE VILLA LIZCANO</td> <td>MICROBIOLOGO</td> <td>MAESTRIA</td> <td>3176377484</td> </tr> <tr> <td>Coinvestigador 1</td> <td>63555389</td> <td>MARIA JULIANA GARCIA</td> <td>ARQUITECTA</td> <td>MAESTRIA</td> <td>3203793456</td> </tr> <tr> <td>Coinvestigador 2</td> <td>1.130.607.776</td> <td>MARIA CAMILA ESCOBAR</td> <td>BIOLOGIA-MICROBIOLOGIA</td> <td>MAESTRIA</td> <td>3215505071</td> </tr> <tr> <td>Coinvestigador 3</td> <td>80795737</td> <td>EDUARDO ANDRES GORRON GOMEZ</td> <td>BIOLOGIA-MICROBIOLOGIA</td> <td>CAND. DOCTORADO</td> <td>61405625087</td> </tr> </tbody> </table> <p>4. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>FECHA</th> <th>ACTIVIDAD</th> <th>RESULTADO ESPERADO</th> <th>RESPONSABLE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 marzo 2014</td> <td>El estudio se realizo entre marzo del año 2014 y Junio del año 2015</td> <td>artículo científico</td> <td>felipe villa</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. INFORMES DEL PROCESO A ENTREGAR</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE INFORME</th> <th>FECHA DE ENTREGA</th> <th>OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Informe Final</td> <td>17 junio 2015</td> <td>Este estudio fue finalizado el 17 de junio de 2015</td> </tr> </tbody> </table> <p>6. PRODUCTOS FINALES A ENTREGAR</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PRODUCTO A ENTREGAR</th> <th>CANTIDAD</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>INVESTIGADOR A CARGO</th> <th>FECHA DE ENTREGA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Artículo científico</td> <td>1</td> <td>Evaluación del impacto ambiental y social de techos verdes extensivos ultralivianos sobre paraderos de bus de Bogotá</td> <td>Felipe Villa</td> <td>17 junio 2015</td> </tr> </tbody> </table> <p>7. FIRMA DE LOS INVESTIGADORES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>INVESTIGADOR PRINCIPAL</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha de Firma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Javier Felipe Villa Lizcano</td> <td></td> <td></td> <td>11 agosto de 2020</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>COINVESTIGADOR 1</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha de Firma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Maria Juliana Garcia Lopez</td> <td></td> <td></td> <td>11 agosto de 2020</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>COINVESTIGADOR 2</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha de Firma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Maria Camila Escobar</td> <td></td> <td></td> <td>11 agosto de 2020</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>COINVESTIGADOR 3</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha de Firma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Eduardo Andres Gorron Gomez</td> <td></td> <td></td> <td>11 agosto 2020</td> </tr> </tbody> </table> <p>8. AVAL INSTITUCIONAL</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>AVAL LÍDER DEL GRUPO OBSERVATORIO Y POLÍTICA DE ESPACIO PÚBLICO DE BOGOTÁ</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha de Firma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>(DD/MM/AÑO)</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>AVAL SUBDIRECCIÓN DE REGISTRO INMOBILIARIO</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha de Firma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>(DD/MM/AÑO)</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>AVAL DIRECTOR(A) DADEP</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha de Firma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>(DD/MM/AÑO)</td> </tr> </tbody> </table>					ROL	No. DOCUMENTO IDENTIFICACIÓN	NOMBRES Y APELLIDOS	PROFESIÓN	NIVEL DE FORMACIÓN	No. DE CONTRATO	Investigador líder	80880794	JAVIER FELIPE VILLA LIZCANO	MICROBIOLOGO	MAESTRIA	3176377484	Coinvestigador 1	63555389	MARIA JULIANA GARCIA	ARQUITECTA	MAESTRIA	3203793456	Coinvestigador 2	1.130.607.776	MARIA CAMILA ESCOBAR	BIOLOGIA-MICROBIOLOGIA	MAESTRIA	3215505071	Coinvestigador 3	80795737	EDUARDO ANDRES GORRON GOMEZ	BIOLOGIA-MICROBIOLOGIA	CAND. DOCTORADO	61405625087	FECHA	ACTIVIDAD	RESULTADO ESPERADO	RESPONSABLE	1 marzo 2014	El estudio se realizo entre marzo del año 2014 y Junio del año 2015	artículo científico	felipe villa	TIPO DE INFORME	FECHA DE ENTREGA	OBSERVACIONES	Informe Final	17 junio 2015	Este estudio fue finalizado el 17 de junio de 2015	PRODUCTO A ENTREGAR	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	INVESTIGADOR A CARGO	FECHA DE ENTREGA	Artículo científico	1	Evaluación del impacto ambiental y social de techos verdes extensivos ultralivianos sobre paraderos de bus de Bogotá	Felipe Villa	17 junio 2015	INVESTIGADOR PRINCIPAL	Nombre	Firma	Fecha de Firma	Javier Felipe Villa Lizcano			11 agosto de 2020	COINVESTIGADOR 1	Nombre	Firma	Fecha de Firma	Maria Juliana Garcia Lopez			11 agosto de 2020	COINVESTIGADOR 2	Nombre	Firma	Fecha de Firma	Maria Camila Escobar			11 agosto de 2020	COINVESTIGADOR 3	Nombre	Firma	Fecha de Firma	Eduardo Andres Gorron Gomez			11 agosto 2020	AVAL LÍDER DEL GRUPO OBSERVATORIO Y POLÍTICA DE ESPACIO PÚBLICO DE BOGOTÁ	Nombre	Firma	Fecha de Firma				(DD/MM/AÑO)	AVAL SUBDIRECCIÓN DE REGISTRO INMOBILIARIO	Nombre	Firma	Fecha de Firma				(DD/MM/AÑO)	AVAL DIRECTOR(A) DADEP	Nombre	Firma	Fecha de Firma				(DD/MM/AÑO)
ROL	No. DOCUMENTO IDENTIFICACIÓN	NOMBRES Y APELLIDOS	PROFESIÓN	NIVEL DE FORMACIÓN	No. DE CONTRATO																																																																																																														
Investigador líder	80880794	JAVIER FELIPE VILLA LIZCANO	MICROBIOLOGO	MAESTRIA	3176377484																																																																																																														
Coinvestigador 1	63555389	MARIA JULIANA GARCIA	ARQUITECTA	MAESTRIA	3203793456																																																																																																														
Coinvestigador 2	1.130.607.776	MARIA CAMILA ESCOBAR	BIOLOGIA-MICROBIOLOGIA	MAESTRIA	3215505071																																																																																																														
Coinvestigador 3	80795737	EDUARDO ANDRES GORRON GOMEZ	BIOLOGIA-MICROBIOLOGIA	CAND. DOCTORADO	61405625087																																																																																																														
FECHA	ACTIVIDAD	RESULTADO ESPERADO	RESPONSABLE																																																																																																																
1 marzo 2014	El estudio se realizo entre marzo del año 2014 y Junio del año 2015	artículo científico	felipe villa																																																																																																																
TIPO DE INFORME	FECHA DE ENTREGA	OBSERVACIONES																																																																																																																	
Informe Final	17 junio 2015	Este estudio fue finalizado el 17 de junio de 2015																																																																																																																	
PRODUCTO A ENTREGAR	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	INVESTIGADOR A CARGO	FECHA DE ENTREGA																																																																																																															
Artículo científico	1	Evaluación del impacto ambiental y social de techos verdes extensivos ultralivianos sobre paraderos de bus de Bogotá	Felipe Villa	17 junio 2015																																																																																																															
INVESTIGADOR PRINCIPAL	Nombre	Firma	Fecha de Firma																																																																																																																
Javier Felipe Villa Lizcano			11 agosto de 2020																																																																																																																
COINVESTIGADOR 1	Nombre	Firma	Fecha de Firma																																																																																																																
Maria Juliana Garcia Lopez			11 agosto de 2020																																																																																																																
COINVESTIGADOR 2	Nombre	Firma	Fecha de Firma																																																																																																																
Maria Camila Escobar			11 agosto de 2020																																																																																																																
COINVESTIGADOR 3	Nombre	Firma	Fecha de Firma																																																																																																																
Eduardo Andres Gorron Gomez			11 agosto 2020																																																																																																																
AVAL LÍDER DEL GRUPO OBSERVATORIO Y POLÍTICA DE ESPACIO PÚBLICO DE BOGOTÁ	Nombre	Firma	Fecha de Firma																																																																																																																
			(DD/MM/AÑO)																																																																																																																
AVAL SUBDIRECCIÓN DE REGISTRO INMOBILIARIO	Nombre	Firma	Fecha de Firma																																																																																																																
			(DD/MM/AÑO)																																																																																																																
AVAL DIRECTOR(A) DADEP	Nombre	Firma	Fecha de Firma																																																																																																																
			(DD/MM/AÑO)																																																																																																																





FORMATO INFORME FINAL PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Código: 127-FOREE-03

Versión: 3 | Página 1 de 4

Vigencia desde: 27/05/2020

PROCESO: ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN DEL OBSERVATORIO Y LA POLÍTICA DE ESPACIO PÚBLICO DE BOGOTÁ

PROCEDIMIENTO Y/O DOCUMENTO: GUIA METODOLÓGICA DE INVESTIGACIONES

1. Datos básicos

Nombre de la entidad:	SUSTENTAR SOLUCIONES VERDES SAS
Nombre del grupo:	Equipo de investigacion en sostenibilidad, Sustentar Soluciones Verdes SAS.
Nombre del proyecto:	Evaluación del impacto ambiental y social de techos verdes extensivos ultralivianos sobre paraderos de bus de Bogotá.
Nombre de los investigadores:	Felipe Villa, María Juliana Garcia, María Camila escobar, Eduardo Gorrón
Fecha de realización del proyecto:	Duración investigación: 16 meses. Duración proyecto: 7 años

2. Introducción

Los techos verdes (TV) pueden contribuir significativamente en el desarrollo de ciudades más sostenibles¹, gracias a características inherentes que su funcionamiento supone y que tienen un efecto positivo sobre el medio ambiente. Dichas mejoras están relacionadas con la reducción del consumo energético de los edificios donde son instalados, mejoras en la calidad del aire y el agua, conservación de la biodiversidad, reducción del efecto isla de calor y el calentamiento global entre otros^{1,2,3}.

Definiremos paradero verde (PV) como el sistema de TV que permite la extensión de vegetación sobre la cubierta de mobiliario urbano M10. Su funcionamiento y composición son parcialmente diferentes a las de un jardín convencional, dadas en resumen limitaciones de peso, espacio para el desarrollo radicular, alta irradiación solar, estrés eólico y poca disponibilidad de agua y nutrientes.

Dos avances tecnológicos desarrollados por Sustentar Soluciones Verdes S.A.S dieron solución a las limitaciones anteriormente mencionadas en los PV. Un **sustrato** ultraliviano de apenas 23 kg/m² capaz de retener 53% de su volumen en agua (Tabla 2) y la **lamina drenante** Oasis 5-01 capaz de capturar 5 L/m² de agua lluvia.

La combinación de ambas tecnologías ha demostrado ser suficiente, al menos en la ciudad de Bogotá, para mantener coberturas extensivas saludables, altamente sostenibles y con mínimos requerimientos hídricos y de mantenimiento.

Distintos estudios han demostrado los beneficios ambientales y sobre la salud humana que ofrecen los TV, justificando con creces sus costos de implementación y mantenimiento¹⁹. Este estudio, primero en el mundo en cuantificar beneficios asociados a la implementación de TV sobre el mobiliario urbano en la ciudad de Bogotá, demostrará que esta iniciativa trasciende el valor estético y económico, al brindar servicios de reparación ambiental para la ciudad.

Bogotá cuenta con una red de monitoreo de la calidad del aire (RMCAB) que mide en tiempo real las concentraciones de diversos contaminantes suspendidos, así como las variables meteorológicas que determinan tendencias de contaminación dentro del área urbana⁴.

Con el paso de los años se ha evidenciado un constante deterioro de la calidad del aire, que las autoridades ambientales y de salud pública, basadas en la información proveniente del RMCAB han tratado de reparar sin mayor éxito. El acelerado crecimiento económico exige mayores consumos energéticos y de combustibles fósiles, lo cual, opaca las medidas ambientales implementadas para retroceder la contaminación del aire que respiramos.

Los principales contaminantes del aire son "óxidos de nitrógeno (NO, NO₂, NO_x), dióxido de azufre (SO₂), material particulado (MP_{2.5}, MP₁₀), ozono (O₃), dióxido y monóxido de



FORMATO INFORME FINAL PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Código: 127-FOREE-03

Versión: 3 | Página 2 de 4

Vigencia desde: 27/05/2020

PROCESO: ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN DEL OBSERVATORIO Y LA POLÍTICA DE ESPACIO PÚBLICO DE BOGOTÁ

PROCEDIMIENTO Y/O DOCUMENTO: GUIA METODOLÓGICA DE INVESTIGACIONES

carbono (CO_2 , CO), metano, benceno, tolueno, formaldehidos e hidrocarburos no metálicos⁴ provenientes mayoritariamente de la industria y del sistema de transporte público y privado de la ciudad.

El material particulado (MP) podría definirse como partículas microscópicas de diferente procedencia y composición que por su peso y tamaño oscilante entre $2,5\mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2,5}$) y $10\mu\text{m}$ (MP_{10}) permanecen suspendidas en el aire. El MP es fácilmente respirado y por ende se considera un serio problema de salud pública por la organización mundial de la salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)⁸.

Las concentraciones de MP en el aire que se respira en la ciudad de Bogotá, exceden hasta en un 45% los límites establecidos por la reglamentación ambiental de la ciudad, posicionando el MP_{10} como el principal contaminante del aire capitalino⁹, razón por la cual las políticas de control ambiental deberían estar dirigidas a estimular estrategias, como la implementación de TV, para atenuar la anormal presencia de este contaminante en el aire.⁴

Otra fuente de contaminación encontrada en el aire son los metales pesados. Mercurio, níquel, cadmio, plomo, berilio, antimonio y cromo procedentes mayoritariamente de la combustión fósil y la actividad industrial, son fácilmente arrastrados por el viento e introducidos en el cuerpo por las vías respiratorias, convirtiéndolos en un problema en salud pública por su gran toxicidad⁵⁻⁶.

El cromo, el cadmio y el mercurio, por ejemplo, son considerados carcinogénicos por la OMS; mientras el plomo y el mercurio alarman por su neurotoxicidad, daño renal irreversible, aparición de anemia, afección pulmonar, y afecciones del sistema óseo⁷⁻⁸. Como un agravante adicional, los metales pesados no pueden ser degradados pues se encuentran en su forma elemental en el ambiente, sin embargo su anormal número en la atmósfera resulta tóxica para muchos animales, incluido el ser humano. Sin embargo como será demostrado en adelante, estos pueden ser bioacumulados en los PV de Bogotá.

El manejo del agua y el cambio de la permeabilidad del suelo de las ciudades a medida que se construye y pavimenta, es uno de los factores determinantes en los cambios del ciclo de este elemento en las grandes ciudades, lo cual tiene un efecto directo sobre el calentamiento global, los desastres naturales causados por tormentas y la calidad de este fluido.

El sustrato y el sistema constructivo de un TV tienen la capacidad de retener agua lluvia, hasta en un 60% de su volumen¹. Una parte de esta agua quedará en el sistema constructivo disponible para las plantas mientras que otra será liberada lentamente por el sistema. La capacidad de retención hídrica de los PV es de vital importancia en la descongestión de los sistemas de alcantarillado de las ciudades en eventos de lluvias torrenciales que representan riesgo de inundación.^{1,10,11}

Como es conocido, el calentamiento global es causado en gran medida por las cantidades de dióxido de carbono (CO_2) y otros gases de efecto invernadero emitidas a la atmósfera, además la materialidad con la que se construyen las ciudades incrementa considerablemente la capacidad térmica de los entornos urbanos (efecto isla de calor) con consecuencias alarmantes para el planeta entero.

La fotosíntesis de la vegetación sobre los PV participa directamente en el ciclo natural del carbono (C) y del oxígeno (O_2), contribuyendo positivamente en la disminución del efecto invernadero y el efecto isla de calor, considerados los principales actores del calentamiento global.¹²⁻¹³

3. Problema y Objetivo del proyecto

El deterioro del medio ambiente causado por la altísima actividad industrial, el crecimiento poblacional y el transporte de la ciudad suponen enormes detrimentos ambientales y sobre la salud pública. Esto sin contar los efectos que el calentamiento global tiene sobre el medio ambiente y la calidad de vida de todos los habitantes del planeta tierra.

El objetivo de este estudio es evaluar: **I.** El potencial de cada paradero verde de retener material particulado total (MP_{2.5}, MP₁₀). **II.** La bioacumulación de arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg) y níquel (Ni) por parte de una especie vegetal de la familia Crassulaceae instalada en los PV. **III.** El potencial de captura de cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni)] por parte del sustrato de los PV, **IV.** La capacidad de retención de agua lluvia del PV, así como un análisis hídrico del sistema, **V.** La captura de dióxido de carbono (CO₂) por parte de 2 especies de la familia Crassulaceae instaladas y de la vegetación exógena del sistema y su correspondiente estimación de oxígeno (O₂) producido por los paraderos verdes. **VI.** La evaluación del impacto social de la infraestructura verde para los habitantes de la ciudad de Bogotá.

4. Objetivo

Justificar la implementación de infraestructura verde sobre el mobiliario urbano de la ciudad de Bogotá, mediante una investigación que establezca algunos de los beneficios ambientales asociados a la misma así como sus costos de ejecución y análisis de su posible establecimiento.

4.1 Objetivos específicos

CUANTIFICAR:

- I. El potencial de cada paradero verde de retener material particulado total (MP_{2.5}, MP₁₀).
- II. La bioacumulación de arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg) y níquel (Ni) por parte de una especie vegetal de la familia Crassulaceae instalada en los paraderos verdes.
- III. El potencial de captura de cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni)] por parte del sustrato de los PV,
- IV. La capacidad de retención de agua lluvia del PV, así como un análisis hídrico del sistema,
- V. La captura de dióxido de carbono (CO₂) por parte de 2 especies de la familia Crassulaceae instaladas y de la vegetación exógena del sistema y su correspondiente estimación de oxígeno (O₂) producido por los paraderos verdes.
- VI. La evaluación del impacto social de la infraestructura verde para los habitantes de la ciudad de Bogotá.
- VII. análisis de manejo de agua lluvia y sostenibilidad hídrica
- VIII. Análisis del mantenimiento futuro

5. Metodología

Montaje y localización del proyecto

Dos (2) paraderos en 4 sectores diferentes de la ciudad de Bogotá (Figura 1) se usaron para la instalación del sistema de techo verde extensivo ultra liviano. El total de 8 paraderos designados a esta investigación, su posición geográfica, datos ambientales y viales se exponen en la tabla 1.

Los paraderos de la calle 67 (C67) en la localidad de Chapinero y del Centro Internacional (CI) en la localidad Santa Fe se encuentran sobre el eje de la carrera séptima a la altura de las calles 67 y 30 respectivamente. Por otro lado, los paraderos del Portal del Dorado en la localidad de Engativá, están ubicados en la calle 26 en ambos costados del acceso de la estación de Transmilenio Portal Dorado. Por último, los paraderos de la Avenida Primero de Mayo(1M), localidad Kennedy, se ubican sobre esta avenida a la altura de la calle 71D.



Figura 1. Ubicación de los 4 puntos de investigación C67: Calle 67, CI: Centro Internacional, 1M: Primera de Mayo, PD: Portal el Dorado

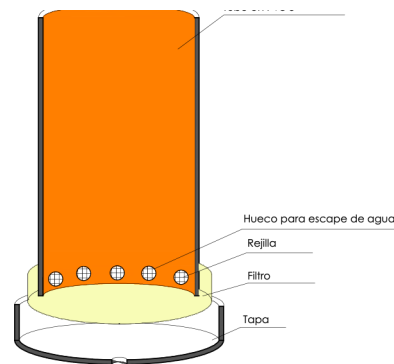
SECTOR	POSICIÓN GEOGRÁFICA	ASNM (m)	h Luz/día	PRECIPITACIÓN	INFO TRAFICO VEHICULAR	VEHICULOS /DIA
CI	4°37'00.34" N 74°04'08.75" W	2608	9,75	1100(1)	Carrera 7: Vía en sentido S-N Trafico buses, carros. Carrera 13. Vía en sentido N-S Trafico buses, carros.	37.507 ²⁷
PD	4°40'50.41" N 74°07'12.84" W	2555	8,5	909,3 (2)	Calle 26: Vía de doble sentido alto Trafico buses, carros, Línea de transmilenio y vehículos de múltiple tracción.	170.737 ²⁷
1M	4°37'01.0" N 74°08'15.5" W	2552	7,25	500 (3)	Av 1 de Mayo: Vía en sentido S-N y S-N alto Trafico de buses, carros y vehículos de múltiple tracción.	Dato no existente
C67	4°39'04.06" N 74°03'28.94" W	2596	6,75	1100 (1)	Carrera 7: Vía en sentido S-N y S-N Trafico buses, carros.	61.000 ²⁶

Tabla 1. Información general de la ubicación de los paraderos verdes instalados. CI (Centro internacional), PD (Portal Dorado), 1M (Av. Primero de mayo), C67 (Calle 67). Los datos de Asoleación fueron promediados con los patrones de distintos solsticios y estimados mediante software Ecotect modelando cada uno de los sectores y volúmenes arquitectónicos alrededor de cada paradero. La información del trafico vehicular y el numero de vehículos por día fueron obtenidas en la secretaria de movilidad de la ciudad y estudios pertinentes.

Captura de material particulado

Se empleó una prueba gravimétrica para medir el peso del material particulado total que por gravedad o por el efecto de vientos y/o lluvias es depositado sobre los paraderos verdes. Dos trampas cilíndricas (figura 2) de material particulado con área $0,004417 \text{ m}^2$ fueron instaladas en cada uno de los 8 paraderos. La trampa consiste en un filtro de celulosa grado 3 de 65 g/m^2 atrapado en un tubo de PVC sobre el cual se deposita el material particulado total a través del tiempo.

Figura 2. Esquema de la trampa de material particulado usada.



Los filtros fueron pesados antes de su instalación y puestos en las trampas durante periodos de 3 meses desde abril del 2014 hasta marzo del 2015. Antes de ser pesados los filtros fueron secados en un horno a 40°C por 30 minutos para evaporar cualquier traza de agua que pudiera intervenir en el resultado. Los datos del periodo de muestreo comprendido entre octubre y diciembre del 2014 no están incluidos en este estudio debido a granizadas reportadas en ese periodo en la ciudad que dañaron los dispositivos.

Bioacumulación de metales pesados en vegetación.

Para este propósito se escogió como organismo de estudio *Sedum rupestre*, variedad "spurium azul" (Figura 4), una planta ampliamente utilizada en el mundo para la ejecución de techos verdes por su gran adaptabilidad y resistencia a condiciones ambientales adversas. Cabe mencionar sin embargo que en los paraderos verdes se usaron más de 15 especies diferentes.

Una muestra de 250 gr de *S. rupestre*, perteneciente al lote de plantas sembradas en los TV de los paraderos fue usada para determinar la concentración inicial de diferentes metales pesados en sus tejidos.

Las concentraciones de arsénico se estimaron mediante la técnica de generación de hidruros, el mercurio fue por medio de la técnica de vapor frío mientras que las concentraciones de cadmio, cromo, plomo y níquel fueron obtenidas por absorción atómica.

12 meses después de la instalación de la vegetación, otra muestra de 250 gr de *S. rupestre* de los 8 paraderos fue recolectada y enviada al laboratorio para contabilizar la concentración de los mismos metales pesados, y de esta forma poder determinar si este género de plantas tiene la capacidad de bioacumular en sus tejidos foliar y radicular, algunos de los metales pesados que son un problema grave en salud pública.

Acumulación de metales pesados en sustrato

Las concentraciones iniciales y finales de metales pesados (Cd, Cr, Pb, Hg, Ni), fueron medidas en una muestra de 500 gr de sustrato, tomada de los 4 sitios de estudio (CI, 1M, C67, PD) en el mes de marzo de 2014 y 2015 respectivamente.

Sustrato, lámina drenante y manejo hídrico del sistema

El sustrato de los paraderos verdes se diseñó con características muy distintas al usado en la mayoría de TV extensivos o intensivos, en especial por su peso ultraliviano y capacidad de drenaje ultra rápida que no ha permitido la inundación o desborde del sistema de TV. Este sustrato es de propiedad de SUSTENTAR SOLUCIONES VERDES SAS. Algunas características de esta fórmula desarrollada por el equipo de investigación de Sustentar Soluciones Verdes se encuentran resumidas en la tabla 2, donde además se muestran los valores iniciales y finales de los diferentes parámetros que se midieron y se comparan con los valores encontrados para techos verdes extensivos convencionales.

Indicador	Inicial	Final	TV extensivo
pH	8,16	6,7575	6,5 - 10,5
C.E	3,4	0,6675	-
% Satu Humedad	53%	35%	25 – 35%
Peso seco kg/m ² *	23,4	19,5	58 - 80
Peso saturado kg/m ² *	35,802	26,325	90 - 125
Macro elementos	36,38	6,7175	-
Micro elementos	36,8	6,66	-

Tabla 4. *Altura de sustrato de 8 cm. La tabla muestra los valores iniciales (Marzo 2014) y finales (Marzo 2015) promedio del sustrato instalado en los diferentes puntos. pH: potencial de hidrógeno, C.E: conductividad eléctrica, Macro elementos: mg/L (Potasio, Calcio, Magnesio, Nitrógeno, Fósforo), Micro elementos en ppm: (Hierro, Manganeso, Cobre, Zinc, Boro). TV extensivo muestra los valores comúnmente encontrados en diferentes tipos de sustratos de techos verdes extensivos.¹⁷⁻¹⁸

Medición del stock de carbón y producción de oxígeno

El centro agroforestal mundial ha estandarizado protocolos para medir la cantidad de carbono presente en un lugar determinado como una medida de bienestar ambiental e indicador de sostenibilidad.¹⁴

Esta parte del estudio cuantificó el potencial que tienen las plantas instaladas y las plantas que aparecieron (malezas) en el sistema de TV sobre los paraderos de capturar por medio de la reacción de la fotosíntesis dióxido de carbono CO₂ y liberar oxígeno O₂.

Para este fin se usaron dos organismos de estudio: *Sedum rupestre* y *Sedum acre*. Estas se emplearon para contabilizar su biomasa total y porcentaje de supervivencia en los paraderos. Para el cálculo de biomasa el sustrato fue completamente lavado de la raíz y la planta secada antes de ser pesada en una báscula de alta precisión. (Figura 8)

Una vez pesadas inicialmente (T1), las plantas fueron introducidas en los paraderos verdes dentro de un anillo de PVC de 2,5 pulgadas de diámetro y 8 cm altura, sembrando una plántula de cada especie por paradero (para un total de 16 individuos). La biomasa final (T2) se obtuvo luego de recolectar los anillos 8 meses después de sembrados y de repetir el lavado de sustrato en raíces. Un individuo de *Sedum acre* murió en el transcurso del experimento y sus datos fueron excluidos del análisis pero se contabilizó para la estimación de supervivencia de este tipo de plantas (93,06%). Los resultados de dicha prueba aparecen en la figura 7.

Impacto social

La infraestructura verde y sus beneficios asociados son un tema completamente desconocido por grandes porciones de la población colombiana. En esta parte del estudio se realizó una encuesta en los 4 sitios de investigación, de la mano del equipo de control y vigilancia del aprovechamiento económico de la Defensoría del Espacio Público (DADEP).

Un total de 960 personas entre hombres y mujeres con edad promedio de 33 años y distintos niveles de escolaridad (primaria: 8%, bachillerato: 46%, técnico: 23% y universitario o superior: 23%), fueron indagados sobre su conocimiento acerca de este tipo de sistemas y sus beneficios ambientales, pero también para saber la aceptación o rechazo que tenían a este tipo de iniciativas. Ahora se muestran algunas de las conclusiones más relevantes¹⁶.

6. Resultados

Captura de material particulado

La figura 3 ilustra el potencial de los paraderos verdes en cuanto a su capacidad de capturar, retener y presumiblemente biodegradar material particulado que por gravedad cae sobre ellos. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.010$) de la cantidad de este contaminante entre los distintos sitios de estudio, lo cual se correlaciona con las condiciones medioambientales y de tráfico vehicular de la tabla 1.

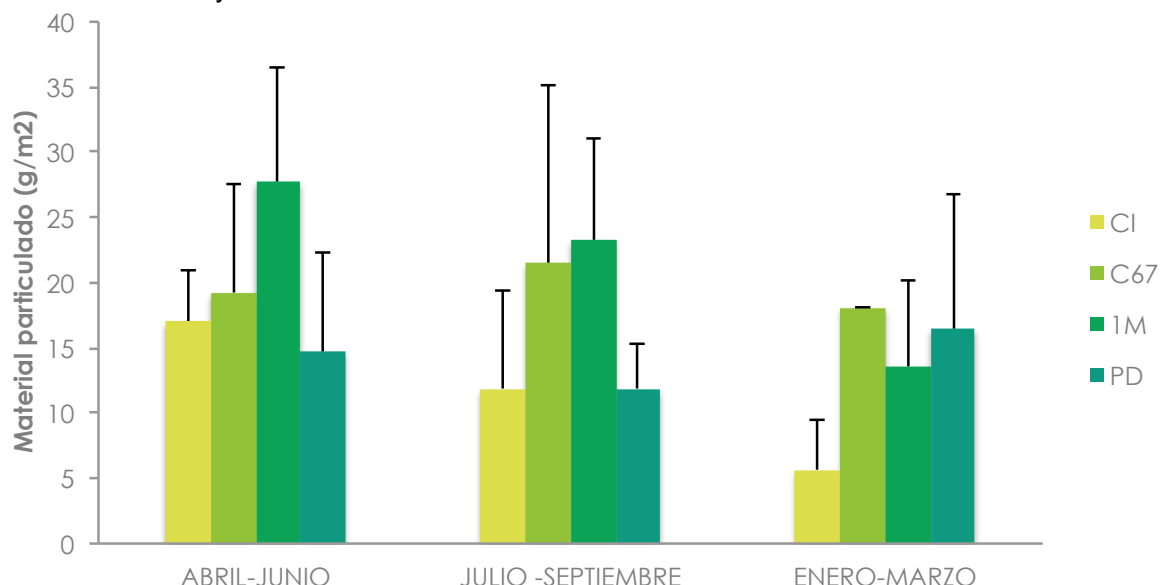


Figura 3. Cantidad en gramos de material particulado total depositado sobre 1 metro cuadrado de paradero verde en un periodo de 3 meses durante abril de 2014 y marzo de 2015.

Solo existen diferencias significativas entre el centro internacional (CI) y la primero de mayo (1M) encontrando en esta ultima los mayores depósitos de este contaminante. Una ventaja del sistema es no poseer diferencias significativas a lo largo del estudio lo cual constituye evidencia para afirmar que el potencial de filtrar MP se mantiene activo a lo largo del tiempo.

Bioacumulación de metales pesados en vegetación.

La figura 5 muestra las concentraciones iniciales y finales de los diferentes metales analizados. En general se evidencian incrementos significativos ($P < 0,01$) para todos los metales, al comparar su concentración inicial y después de haber estado expuestos 1 año a las condiciones de contaminación encontradas en cada uno de los sitios de estudio.

El arsénico mostró concentraciones 8 veces más altas que las encontradas inicialmente, por otra parte el Cromo se incremento 2,3 veces, el plomo 3,22 veces, el mercurio 10 veces y el níquel 5,1 veces comparado con las concentraciones al inicio del estudio.

Los metales que más se bioacumulaban fueron el plomo y el cromo, diferente al cadmio que presentó una reducción significativa, 5 veces menos comparada con su valor inicial.

Los resultados demuestran la capacidad que tienen las plantas del género *Sedum* de absorber y retener en sus tejidos metales pesados del ambiente, convirtiendo los techos verdes en filtros naturales sobre el mobiliario urbano que ayudan en la mitigación de las concentraciones suspendidas en el aire de dichos metales, disminuyendo así el riesgo que éstos representan para la salud humana.

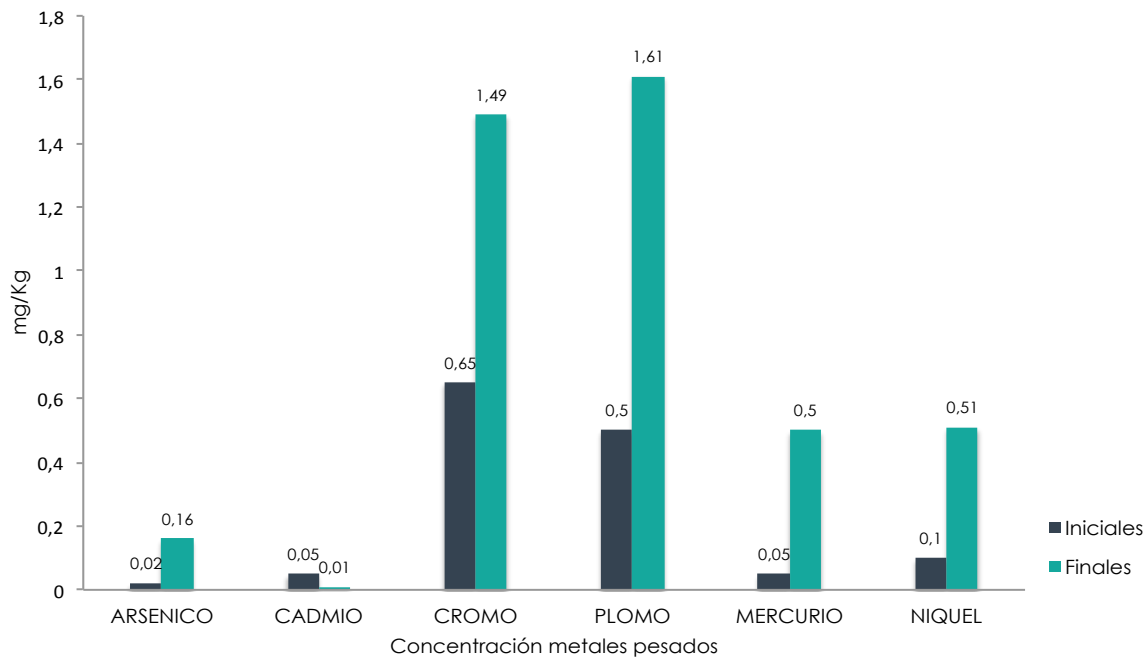


Figura 5. Comparación de las concentraciones (mg/Kg) de diferentes metales pesados encontrados en los tejidos aéreos y radiculares de *S. Rupestre azul* antes y después de ser expuestas a las condiciones de contaminación de los paraderos verdes durante un año.

Acumulación de metales pesados en sustrato

Los resultados expuestos en la figura 6 muestran el aumento significativo ($P < 0,01$) de la concentración de los metales analizados en los 4 sitios de estudio. Lo que evidencia que estos contaminantes, arrastrados por la lluvia o conducidos por el aire hasta la superficie de los techos verdes, quedan atrapados dentro del sustrato y también, como se demostró anteriormente dentro del tejido de la vegetación instalada (Figura 5).

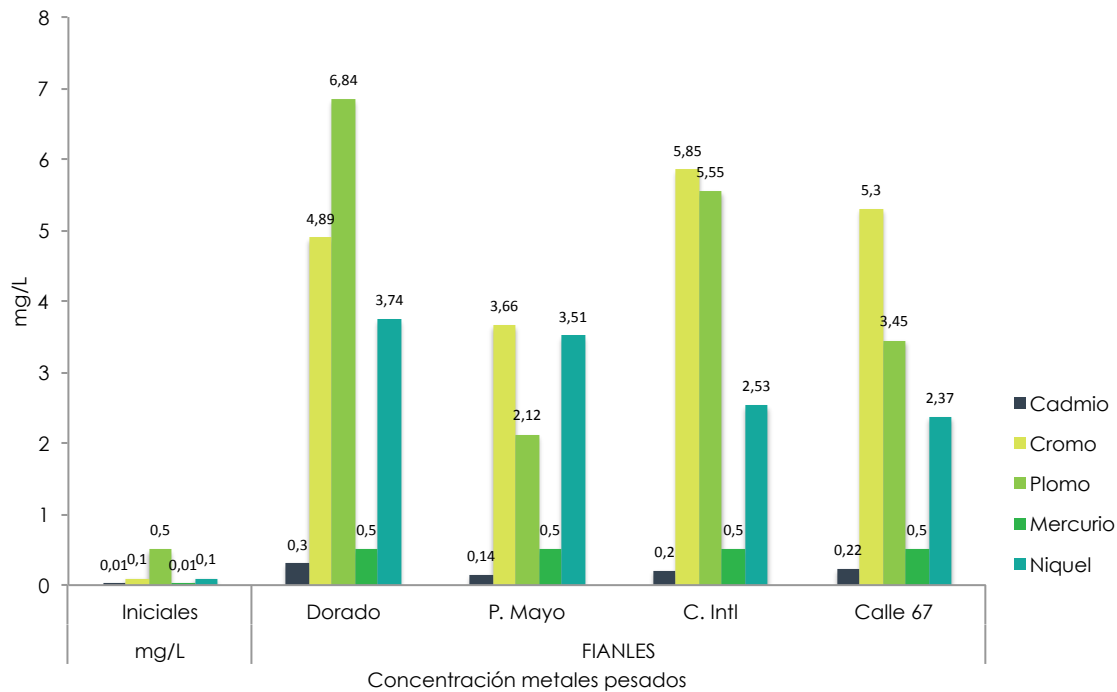


Figura 6. Comparación de las concentraciones (mg/L) de diferentes metales pesados encontrados en sustrato antes de la instalación de los paraderos verdes y un año después.

Contrario a lo que se había pensado inicialmente dada la actividad industrial, la falta de vegetación y el tráfico vehicular pesado presente en la Avenida Primero de Mayo, las muestras allí recolectadas mostraron los niveles más bajos de cromo, cadmio y plomo. Este resultado se correlaciona con la precipitación promedio reportada en la localidad de Kennedy (tabla 1) la cual es aproximadamente 50% menor que la reportada en los otros puntos de estudio.

Los resultados corroboran la hipótesis que la lluvia arrastra consigo el material particulado y los metales pesados que se encuentran suspendidos en el "Esmog" de la columna de aire sobre los paraderos verdes, los cuales actúan como filtros naturales que los retienen, bioacumulan y biodegradan gracias a la carga microbiológica del sustrato.

El sitio de estudio donde mayor acumulación de metales pesados totales se halló fue el PD. El Plomo, presente en la gasolina de avión, es responsable de daños en la salud humana, afecta principalmente el desarrollo neurológico en niños menores de 6 años. Se consideran tóxicas concentraciones en suelo mayores a 400 ppm y en el aire de $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según informe de la EPA en el 2006.

Por otra parte el Cr constituyó el metal con mayores concentraciones en los sitios 1M, CI y C67. La inhalación aguda de Cr produce irritación de vías respiratorias, aumento en la intensidad y frecuencia de crisis asmáticas, además de alteraciones gástricas e intestinales. La exposición crónica respiratoria puede ocasionar enfisema pulmonar, disminución de la capacidad pulmonar, fibrosis pulmonar, entre otras. También puede ocasionar alteraciones de la función hepática, renal y del sistema nervioso central. Por último se ha evidenciado aumento del riesgo de cáncer de pulmón entre los profesionales expuestos al cromo.²³

Metal pesado	mg/año de metales capturados en sustrato de paraderos verdes por sitio				$\mu\text{g}/\text{km}$ metales emitidos por un vehículo estándar ²⁶
	PD	1M	CI	C67	
Cadmio	197,2	88,4	129,2	142,8	0,27

Cromo	3257,2	2420,8	3910	3536	0,39
Plomo	4311,2	1101,6	3434	2006	1,159
Mercurio	333,2	333,2	333,2	333,2	0,218
Niquel	2475,2	2318,8	1652,4	1543,6	0,325

Tabla 2. mg de metales pesados capturados por el sustrato de los paraderos verdes en los diferentes sitios de estudio durante un año.

La presencia de cromo en el aire puede deberse a varios factores, siendo uno de los más importantes la actividad industrial. Estudios hechos en la localidad de Puente Aranda correlacionan la presencia de mayores niveles de cromo en el aire con la actividad de diferentes industrias, incluidas las metalúrgicas, curtiembres y de pinturas.²⁴

Los resultados demuestran nuevamente la capacidad de los apenas 8,5 m² de paradero verde para filtrar y retener contaminantes atmosféricos y en especial de contribuir a la solución de problemas de contaminación localizada como el caso del Pb en el área circundante al aeropuerto internacional de Bogotá.

La tabla 2 muestra la cantidad de metales pesados capturados por paradero, en cada uno de los 4 sitios de muestreo. Este cálculo se hizo considerando un volumen de 0,68m³ de sustrato y calculando la diferencia en la presencia de metales, antes y después del período analizado. Estos valores se compararon con las emisiones de metales pesados por un vehículo regular²⁵ para así determinar cuántos kilómetros de emisiones son mitigados por un PV. Ese cálculo, se extendió también al supuesto de tener 1600 paraderos.

Los resultados de estas estimaciones pueden verse en la tabla 3, donde se calculó la captura de metales pesados por paradero por año y además, se proyectaron estos valores al total aproximado de paraderos de la ciudad, concluyendo que se capturarían por ejemplo el equivalente de 13,4 millones km de emisiones de cromo en un año. Lo anterior demuestra el alto potencial de los PV para capturar contaminantes y mejorar la calidad del aire de la ciudad.

Metal pesado	Kilómetros/año equivalentes a la mitigación de metales pesados por paradero					Kilómetros absorbidos por 1600 paraderos (km/año)
	Dorado	P. Mayo	C. Intl	Calle 67	Promedio	
Cadmio	730	327	479	529	516	826 mil
Cromo	8352	6207	10026	9067	8413	13.4 millones
Plomo	3720	950	2963	1731	2341	3.7 millones
Mercurio	1528	1528	1528	1528	1528	2.4 millones
Niquel	7616	7135	5084	4750	6146	9.8 millones

Tabla 3. Metales pesados capturados en cada paradero durante el período de estudio, y cálculos de kilómetros de emisiones de metales absorbidos por los paraderos.

Sustrato, lámina drenante y manejo hídrico del sistema

Los resultados fisicoquímicos del sustrato presentados en la tabla 4 muestran que a pesar de las diferencias en el tiempo, el sustrato sigue aportando las condiciones ideales de anclaje radicular y nutrición para la vegetación instalada (Figura 9), mientras cumple con las exigencias de peso y drenaje que permiten su instalación, establecimiento y estabilidad en el tiempo.

Los datos de conductividad eléctrica indican una disminución considerable en la concentración de nutrientes después de un año de la instalación, lo cual no significa necesariamente una condición desfavorable para la vegetación instalada, que continúa procesos de crecimiento y floración que demuestran el buen estado fisiológico de las plantas incluso en condiciones de baja fertilidad (Figuras 7 y 9).



FORMATO INFORME FINAL PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Código: 127-FOREE-03

Versión: 3

Página 11 de 4

Vigencia desde: 27/05/2020

PROCESO: ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN DEL OBSERVATORIO Y LA POLÍTICA DE ESPACIO PÚBLICO DE BOGOTÁ

PROCEDIMIENTO Y/O DOCUMENTO: GUIA METODOLÓGICA DE INVESTIGACIONES

La variación del pH por otra parte corrobora la plasticidad de estas especies a adaptarse exitosamente a las diferentes condiciones ambientales a las que son expuestas.

Para evaluar algunas características físicas del sustrato y su comportamiento con el agua, se tomaron 10 muestras de $0,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ escogidas aleatoriamente en el momento de la instalación de los paraderos, con las cuales se midió el peso seco, peso saturado y la cantidad de sólidos encontrados en el lixiviado luego que someter dicho volumen de sustrato al paso de 500ml de agua que simulaba una lluvia torrencial. Esta información fue usada para calcular el peso seco final.

En resumen, el agua lluvia que cae sobre el sustrato de los paraderos y la lámina drenante utilizada (Oasis 5-01) han permitido hasta la fecha el auto sostenimiento hídrico del sistema. En eventos de lluvia torrencial, el sustrato instalado es capaz de retener en promedio el 53% de su volumen en agua lluvia, lo que equivale aproximadamente a 360 litros.

Este volumen de agua lluvia puede ser dividido en 3 porciones diferentes: **I.** El agua que absorben las plantas sobre el techo verde. Esta varía según la especie y el estado de deshidratación de la misma, sin embargo teniendo como referencia las plantas instaladas (familia Crassulaceae)²⁰ este valor equivale aproximadamente a $0,55 \text{ L/m}^2$ o 4,67 litros por paradero **II.** El agua retenida en la lámina drenante Oasis 5-01 que permite retener 5 L/m^2 o 42,5 litros por paradero. Esta porción queda atrapada y es liberada lentamente durante periodos de sequía para ser usada por la vegetación. A la fecha, la lámina drenante Oasis 5,01 ha logrado que el sistema de techos verdes sobre los paraderos de bus funcione solo con el agua lluvia que cae sobre ellos. **III.** El agua que sale del sistema por escorrentía y evaporación. Este valor depende completamente de la cantidad de agua lluvia que caiga sobre el paradero, la temperatura ambiente, la humedad relativa y demás factores meteorológicos que intervienen en este proceso.

Con los datos expuestos podemos evidenciar que el sustrato no es un sistema estático, pues como cualquier suelo cambia sus características a lo largo del tiempo; sin embargo comprendemos que como parte del sistema constructivo ayuda a retener 234,26 litros de agua que dejarán de ir al alcantarillado, aportando en la disminución del riesgo de inundación en la ciudad y que además permiten que el sistema se autorregule hídricamente y no necesite irrigaciones adicionales al agua lluvia.

Con los resultados expuestos se puede asumir que si se implementara este sistema en los aproximadamente 1600 paraderos en Bogotá, se podrían retener alrededor de 375 m^3 de agua lluvia.

Medición del stock de carbón y producción de oxígeno



Figura 8. *Sedum rupestre* usado para determinar la biomasa total inicial. El procedimiento se repitió al final del experimento para determinar el delta de biomasa.

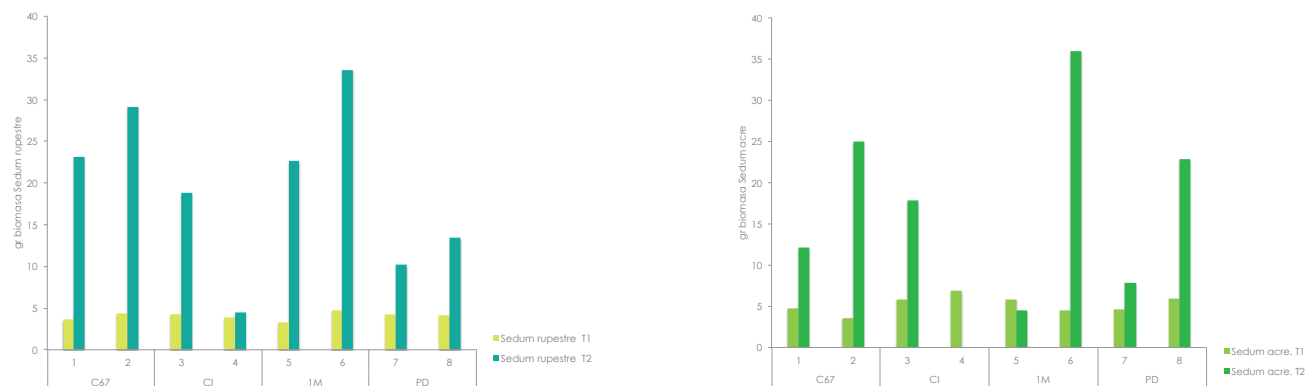


Figura 7. Diferencia de biomasa de 16 individuos (8 *S. acre* y 8 *S. rupestre*) al momento de ser instalados (T1) y 8 meses después (T2) en los diferentes sitios de estudio (C67, CI, 1M, PD)

Como es evidente en la gráfica, las plantas no solo soportaron las toscas condiciones de contaminación e inclemencia ambiental a las que fueron sometidas en los paraderos verdes sino que durante todo el periodo de estudio crecieron significativamente ($P < 0,05$) en comparación con su tamaño y peso inicial, lo que también demuestra que el sistema atípico de techo verde diseñado funciona.

En promedio, *Sedum acre* incrementó su biomasa 3,4 veces y *Sedum rupestre* 4,75 respecto a su valor inicial. Este delta fue usado para estimar el carbono total capturado en 8 meses por la planta que equivale a los gramos de CO_2 fijados por fotosíntesis durante el tiempo de estudio.¹⁴ Las malezas también fueron incluidas en esta estimación; para esto cada 3 meses desde la fecha de instalación fueron recolectadas de cada paradero, secadas por completo en un horno a $40^\circ C$ y

pesadas para hacer la estimación usando el factor de conversión del contenido de carbón establecido por el Centro Agroforestal Mundial (tabla 5).

gr carbono fijados en 8 meses				
Sector	# de paradero	<i>Sedum acre</i>	<i>Sedum rupestre</i>	Vegetación exógena
C67	1	3,3948	8,947	75,5872
	2	9,8394	11,4172	
CI	3	5,5338	6,6654	293,2224
	4	0	0,2852	
1M	5	2,6818	8,947	87,6668
	6	14,4992	13,248	
PD	7	1,5042	2,7416	115,069
	8	7,8062	4,2504	

Tabla 5. C67 (Calle 67), CI (Centro Internacional), 1M (Av. Primero de Mayo), PD (Portal Dorado). Los números de paradero del 1 al 8 son los paraderos del experimento, dos paraderos por sector. Los datos de carbono mostrados en la tabla corresponden al cálculo del carbono final fijado usando el delta de biomasa de *Sedum acre*, *Sedum rupestre* y la totalidad de biomasa de la vegetación exógena multiplicada por el factor de conversión para estimación de carbón¹⁴ (0,46). Los gramos de vegetación exógena corresponden la totalidad de malezas recolectadas.

Teniendo en cuenta los datos mostrados en la tabla 5 se estimó que en promedio una planta del género *Sedum* es capaz de fijar por fotosíntesis 0,795 gr de carbono, sabiendo este dato, el porcentaje de supervivencia (93,06%) de los individuos sembrados inicialmente y la vegetación exógena que apareció en los paraderos, se dedujo que 500,4g de carbono son capturados por cada paradero mensualmente. Esta fijación equivale al monóxido de carbono (CO) emitido por un vehículo 4x4 del año 2014¹⁵ que se desplaza 1584 km. Si este dato se extrapolara a todos los paraderos de la ciudad este valor equivaldría a 2.5 millones de Km aproximadamente.

Basados en la estequiometría de la fotosíntesis (1 mol de CO₂ fijado libera 1 mol de O₂) y la cantidad de gramos de carbono calculados, se puede estimar que cada paradero verde tiene la capacidad de producir alrededor de 1334 gr de oxígeno/mes. Considerando que una persona promedio consume aproximadamente 8322 gr de oxígeno al mes²¹, concluimos que 6 techos verdes proveen el oxígeno para satisfacer dicha demanda. Extendiendo este resultado a 1600 paraderos verdes, se tendría el potencial de satisfacer la demanda de oxígeno de 256 personas.

El oxígeno liberado por un PV equivale al producido por un bosque urbano de 9.46 m², considerando que la capa vegetal de una urbe típica libera 12,79 ton O₂/hm².²²

Impacto social

La falta de conocimiento por parte de la población sobre infraestructura verde fue muy evidente, 69% de los encuestados no saben qué es un TV ni un paradero verde; además el 68% no tiene conocimiento alguno sobre al menos un beneficio ambiental asociado a estos. En general la localidad de Chapinero fue el sector de la ciudad donde más desconocimiento se presentó, a diferencia de la localidad de Fontibón donde más conocimiento hubo¹⁶.

A pesar de la falta de conocimiento mencionada, casi el 85% de los encuestados sin importar edad, sexo, estrato socioeconómico o nivel escolar considera muy importante (52,7%) o importante (31,67%) la implementación de este tipo de iniciativas. El 9% de los encuestados tiene una posición neutral, tan solo el 2,5% lo considera poco importante, el 0,52% inútil y el 2,7% no saben o no responde al respecto¹⁶ (figura 10).

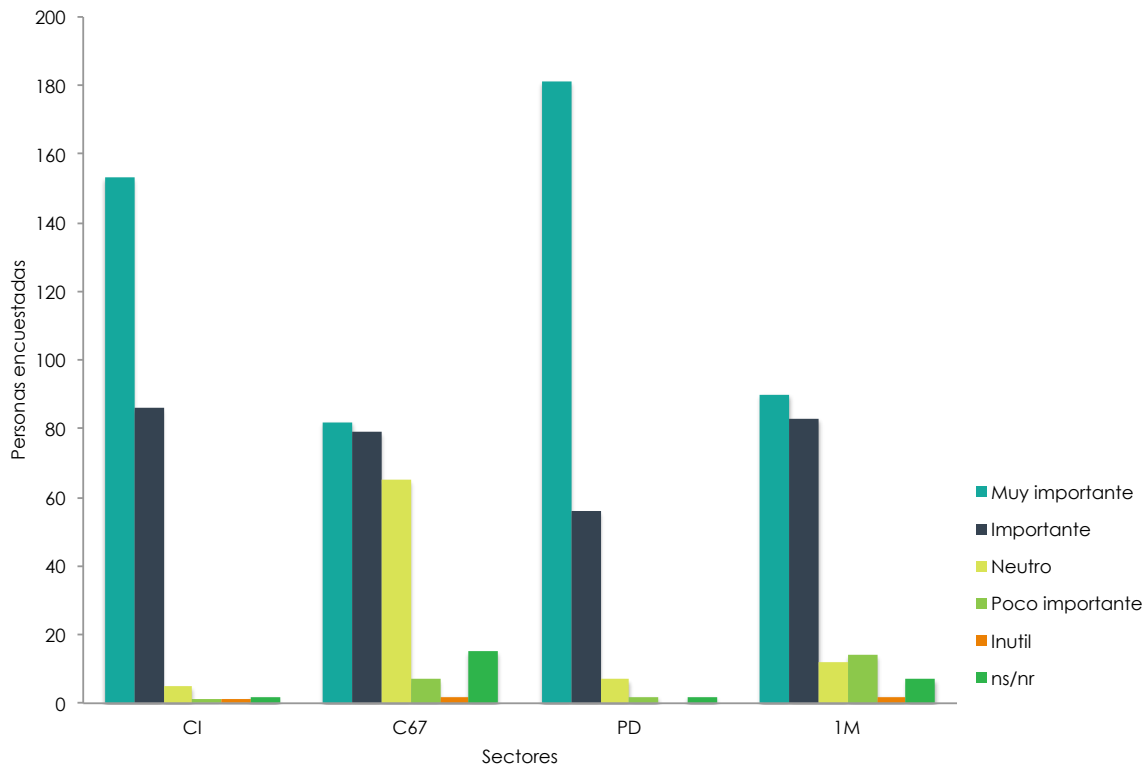


Figura 10. Numero de respuestas afirmativas a las categorías muy importante, importante, neutro, poco importante, inútil, ns/nr cuando se formulo la pregunta "Que tanta importancia cree usted tiene para la ciudad la implementación de este proyecto" a 960 individuos en los 4 sitios de estudio CI, C67, PD, 1M.

Cuando se indagó sobre la calidad ambiental de Bogotá y la percepción de si los paraderos contribuirían a su mejoramiento, el 88% de la población manifestó creer que el proyecto ayuda al mejoramiento ambiental de la ciudad y lo consideran necesario para la misma. Además el 76% y 80% consideran que la iniciativa incrementa la conciencia ciudadana y el sentido de pertenencia por la ciudad respectivamente¹⁶.

7. Productos resultantes

Artículo científico y 28 paraderos verdes para la ciudad de Bogotá.



8. Conclusiones

Este estudio logra demostrar que los techos verdes son una solución viable para mitigar varios problemas medioambientales, y sus repercusiones en la salud pública.



FORMATO INFORME FINAL PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Código: 127-FOREE-03

Versión: 3

Página 15 de 4

Vigencia desde: 27/05/2020

PROCESO: ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN DEL OBSERVATORIO Y LA POLÍTICA DE ESPACIO PÚBLICO DE BOGOTÁ

PROCEDIMIENTO Y/O DOCUMENTO: GUIA METODOLÓGICA DE INVESTIGACIONES

Los techos verdes sobre los paraderos de bus funcionan como un biofiltro capaz de capturar 4,53g de metales pesados por año, que supondría capturar 7 Kg de metales pesados si se implementaran en todos los paraderos de la ciudad. Los TV tiene potencial de capturar 4,6kg de material particulado por año. Esto equivale al material emitido por el desplazamiento a lo largo de 26 mil km de un vehículo estándar.²⁵

El potencial de filtración de los paradero aumenta con los metales pesados, ya que éstos no solo son retenidos por el sustrato, sino que también son bioacumulados en el tejido vegetal.

Sorpresivamente se evidencio la gran capacidad que tienen las plantas de la familia Crassulacea, para bioacumular metales pesados. Además de solucionar problemas localizados de contaminación, como el observado en el PD, donde los paraderos mostraron concentraciones de Pb que excedían las encontradas en los otros sitios de estudio.

Por otra parte se concluye que la vegetación escogida es la adecuada, pues sus características genéticas y de adaptación ecológica permitieron su estabilidad, establecimiento y durabilidad en el tiempo. Esto sucedió, pese a la baja fertilidad, los altos índices de contaminación, la falta de riego y la adversidad climática de los puntos de estudio.

Los TV participan también activamente en el ciclo del carbón, y tienen producciones netas de oxígeno mayores a las emitidas por la misma área de la vegetación usualmente encontrada en la ciudad (pastos, plantas de porte medio o plantas C3)

En el caso en que se decidiesen instalar TV en paraderos de la malla vial de la ciudad, se mejoraría la calidad de su ambiente como se observó en la tabla 6

De 960 personas encuestadas, 662 ignoraban estar en un paradero verde y sus beneficios, indicando un alto nivel de desconocimiento sobre el tema. Los encuestados consideraron que propuestas como los paraderos verdes mejoran el medio ambiente (88%), generan conciencia ciudadana (76%) y sentido de pertenencia (80%). Por ende es importante incrementar su número y llevar a cabo acciones pedagógicas, donde se haga énfasis en los beneficios demostrados en este artículo para el medio ambiente de la ciudad.

Uno de los principales temores sobre la implementación de este tipo de iniciativas es el costo de mantenimiento y origen de los recursos para realizarlo, sin embargo a puertas del desarrollo sostenible de Bogotá es importante ver que iniciativas que amplíen los metros cuadrados verdes de la ciudad contribuyen a reducir los índices de contaminación, la calidad de vida y los índices de salud pública de la ciudad.

Este estudio demuestra que los paraderos verdes son capaces de sobrevivir las condiciones ambientales a las que son expuestos sin necesidad de riego distinto al agua lluvia. Esto gracias a la lámina drenante utilizada y la capacidad de retención de humedad del sustrato diseñado.

La evidencia presentada sugiere que las plantas instaladas pueden sobrevivir en niveles de fertilidad muy bajos (C.E 0,66). Recomendamos realizar un mantenimiento preventivo al sustrato para recuperar los nutrientes perdidos en le tiempo. Esta labor se deberá realizar una (1) vez cada 3 o 4 años (dependiendo del tipo de insumo a usar) y consiste en agregar un poco más de sustrato para recuperar la porción orgánica perdida

Se ha visto que distintas malezas aparecen sobre el sistema de TV. Se recomienda no retirarlas ya que con esto se puede contribuir a que los techos verdes funcionen como un ecosistema donde los nutrientes se reciclan luego de la muerte y descomposición de las mismas.

Para futuras implementaciones se recomienda el uso de marcos metálicos u otro material que no sufra pudrición por las condiciones ambientales al igual que una membrana de impermeabilización de PVC para proteger el techo original de los paraderos.

Los valores de mantenimiento no debería ser un determinante en la consideración de su implementación, pues por su larga temporalidad lo hace equiparable con los costos de mantenimiento que reciben las cubiertas de los paraderos sin techo verde. Además los beneficios de los servicios ecosistémicos y ambientales que los paraderos representan para la ciudad pagan con creces dicho costo.

Proyección en escala del impacto ambiental

La Tabla 6 resume los beneficios discutidos en este artículos y proyectados en los 1600 paraderos en términos de emisiones por kilómetro de un vehículo estándar que use gasolina corriente. A esto se agrega que esos 1600 paraderos emitirían el oxígeno que un bosque urbano de 1.51 ha produciría en un año y también retendrían 375 m³ de agua que mejorarían la permeabilidad de la ciudad, disminuirían el efecto isla de calor y el calentamiento global.

Contaminante considerado	Equivalente en Km de emisiones mitigados
MP total	3,2 millones
Metales pesados	
Cadmio	826 mil
Cromo	13.4 millones
Plomo	3.7 millones
Mercurio	2.4 millones
Niquel	9.8 millones
CO	2.5 millones

Tabla 6. Millones o miles de kilómetros de emisiones mitigadas por el sistema de PV de implementarse en 1600 paraderos a lo largo de la ciudad de Bogotá.

9. Recomendaciones

- Instalar paraderos verdes en la ciudad de bogotá
- Incluir en los diseños de mobiliario e unfraestructura de la ciudad estas cubiertas verdes que NO REQUIEREN DE NINGUN TIPO DE MANTENIMIENTO
- Estabelcer mecanismos de financiación que no toques los recursos publicos para su ejecución. Ejemplo, publicidad, bonos de carbon, domaciones etc.

10. Referencias bibliográficas

1. State of the art analysis of the environmental benefits of Green roofs. Umberto Berardi, AmirHosein GhaffarianHoseini, Ali GhaffarianHoseini. Applied Energy journal. Dicimebre 2013
2. Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth. Nicholaus D. VanWoert, D. Bradley Rowe, Jeffrey A. Andresen, Clayton L. Rugh, R. Thomas Fernandez, and Lan Xiao. Journal of environmental quality 34:1036–1044 Noviembre 2005.
3. Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs. KRISTIN L. GETTER, D. BRADLEY ROWE, G. PHILIP ROBERTSON, BERT M. CREGG, AND JEFFREY A. ANDRESEN. Environmental Science technology. Agosto 2009
4. Evaluación del estado de la calidad del aire en Bogotá. M Gaitan, E Behrentz. Grupo de estudios en sostenibilidad urbana (SUR). Departamento de ingeniería civil, Universidad de Los Andes. Bogota, Colombia. 2009



FORMATO INFORME FINAL PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Código: 127-FOREE-03

Versión: 3 Página 17 de 4

Vigencia desde: 27/05/2020

PROCESO: ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN DEL OBSERVATORIO Y LA POLÍTICA DE ESPACIO PÚBLICO DE BOGOTÁ

PROCEDIMIENTO Y/O DOCUMENTO: GUIA METODOLÓGICA DE INVESTIGACIONES

5. Mauricio Velazco G, La calidad del aire asociado con metales pesados en la ciudad de Manizales. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 2005.
6. Cadmium and cadmium compounds. En: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 58, beryllium, cadmium, mercury and exposures in the glass manufacturing industry. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1993.
7. Chromium and chromium compounds. monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 49, Chromium, Nickel and Welding. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1990.
8. Metales pesados (Pb, Cd, Cr Y Hg) en población general adulta próxima a una planta de tratamiento de residuos urbanos de Biskaia. Miren Begoña, Zubero Oleagoitia, et al. Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.
9. Material particulado, el rey de los contaminantes de Bogotá. Artículo impreso diario ADN de Bogotá. 3 de marzo de 2013.
10. Sun T, Bou-Zeid E, Wang ZH, Zerba E, Ni GH. Hydrometeorological determinants of green roof performance via a vertically-resolved model for heat and water transport. *Build Environ* 2013;60:211–24
11. Berndtsson JC. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. *Ecol Eng* 2010;36:351–60.
12. Berardi U. Clarifying the new interpretations of the concept of sustainable building. *Sustain Cities Soc* 2013;8(1):72–8.
13. Saadatian O, Sopian K, Salleh E, Lim CH, Riffat S, Saadatian E, et al. A review of energy aspects of green roofs. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;23:155–68.
14. A manual. Measuring carbon stocks. Across land use system. Kurniatun Hairiah, Sonya Dewi, Fahmuddin Agus, Sandra Velarde, Andree Ekadinata, Subekti Rahayu and Meine van Noordwijk. World agroforestry center.
15. Pers com. Datos de emisiones de vehículo Mazda.
16. Informe estadístico de paraderos verdes de Bogotá. Equipo de control y vigilancia en la aplicabilidad al marco regulatorio del aprovechamiento económico del espacio público del DADEP. Alcaldía Mayor e Bogotá.
17. Technical data sheet Bauder intensive substrate. 22-05-2014. Tomado de www.bauder.co.uk/assets/b/a/auder-intensive-substrate.pdf
18. Landtech soil. Urban tech solutions. Ficha técnica de sustratos tomado de: http://www.landtechsoils.ie/wp-content/uploads/2014/09/Green-Roof-Substrates-Specification-_-Irish.pdf
19. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. Open Access funded by The Gulf Organisation for Research and Development. Bajo licencia Creative Commons
20. JAMES A. TEERI*, MATTHEW TURNER, AND JESSICA GUREVITCH The Response of Leaf Water Potential and Crassulacean Acid Metabolism to Prolonged Drought in *Sedum rubrotinctum*. *Plant Physiology* (1986).
21. Loer SA, Scheeren TW, Tarnow J. How much oxygen does the human lung consume? *Anesthesiology*. 1997 Mar;86(3):532-7. PubMed PMID: 9066318.
22. Guan DS, Chen YJ. Roles of urban vegetation on balance of carbon and oxygen in Guangzhou, China. *J Environ Sci (China)*. 2003 Mar;15(2):155-9.
23. Tortajada, J. F., Castell, J. G., Andreu, J. L., Domínguez, F. G., García, J. O., Tornero, O. B., & Conesa, A. C. (2001). Enfermedades asociadas a la polución atmosférica por combustibles fósiles. *Aspectos pediátricos. Rev Esp Pediatr*, 57(3), 213-225.
24. Perez Fadul, Luisa, y Hernandez Hernandez, Liliana. Determinación de metales pesados en partículas respirables e identificación de fuentes de emisión, a partir de un muestreo atmosférico en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá. Tesis de grado, Universidad de la Salle. 2006.
25. Ministerio Nacional de Agricultura y Medio Ambiente de España. Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera 1990-2012. Volumen 2: Análisis por Actividades SNAP.

26. Observatorio de movilidad carrera 7: 1 SDM 2010. 2 Consorcio Carrera 7, 2008. 3 Documento técnico de soporte (2010) SDM, SDP, IDU y TM. 4 SITYMUR, Universidad de Los Andes
27. Dirección de control y vigilancia. Secretaria Distrital de Movilidad de Bogotá. Estudios de flujos vehiculares por sectores. 2014

11. Anexos

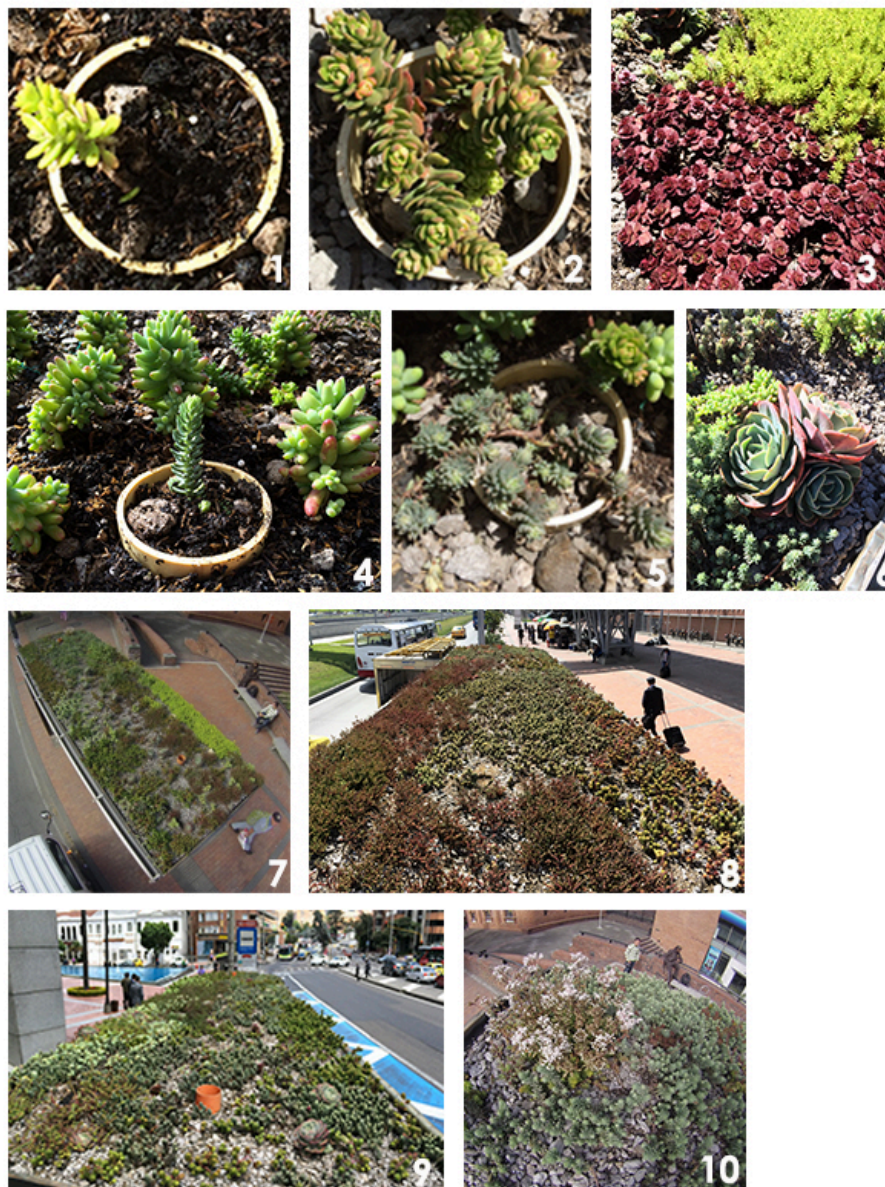


Figura 9. 1. Plántula de *S. acre* sembrada en anillo de PVC T1, 2. Planta de *S. Acre* un año después de haber sido sembrada en anillo de PVC 3. Cobertura de *S. rupestre* amarillo y *S. voodoo* sobre paradero de C67 4. Plántula de *S. rupestre* azul sembrada en anillo de PVC T1, 5. Planta de *S. rupestre* azul un año después de haber sido sembrada en anillo de PVC 6. Individuo de la familia *Echeveria* con dos plantas hijas en sus costados 7. Vista aérea del estado de los paraderos en CI en enero de 2015 8. Estado de los paraderos en PD en marzo de 2015 9. Estado de los paraderos en PD en marzo de 2015 10. Individuo de *S. coral* en floración.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

Departamento Administrativo
de la Defensoría del Espacio
Público -DADEP-

FORMATO INFORME FINAL PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Código: 127-FOREE-03

Versión: 3

Página 19 de 4

Vigencia desde: 27/05/2020

PROCESO: ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN DEL OBSERVATORIO Y
LA POLÍTICA DE ESPACIO PÚBLICO DE BOGOTÁ

PROCEDIMIENTO Y/O DOCUMENTO: GUIA METODOLÓGICA DE
INVESTIGACIONES

Elaboró: Sergio Iván Rojas Berrío, Sergio Iván Rojas Berrío, Líder Grupo Observatorio y Política de Espacio Público

Revisó: Luis Fernando Arango Vargas - Profesional Oficina Asesora de Planeación

Alejandra Jaramillo Fernández - Jefe Oficina Asesora de Planeación

Aprobó: Waldo Yecid Ortiz Romero - Subdirector de Registro Inmobiliario

Código de archivo: 400135

CONTROL DE CAMBIOS

FECHA	VERSION	DESCRIPCION DE LA MODIFICACION
27/05/2020	3	Se ajusta el nombre del proceso en concordancia con la resolución 514 de 2019.