

Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le de crédito al documento y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA
UNIVERSIDAD DE LA SABANA
Chía - Cundinamarca

Análisis Comparativo Del Sistema De Paredes Verdes Mediante El Uso De Llantas Recicladas Para Determinar La Viabilidad De Un Modelo A Escala Para Paredes Vegetadas

Javier Corredor Acuña

Tutor: Ana María Borda PhD

Marzo 2016

UNIVERSIDAD DE LA SABANA



Facultad de Ingeniería

Maestría en Gerencia de Ingeniería

Palabras clave: Pared Verde, Jardín Vertical, Cubierta Vegetal, Llanta Reciclada, Construcción Sostenible, Arquitectura Bioclimática, Sostenibilidad, Isla de Calor, Cambio Climático, Radiación Solar, Gases de Efecto Invernadero, Huella de Carbono, Problemática ambiental

RESUMEN

Este trabajo busca suministrar información sobre los jardines verticales mediante el uso de llantas desechadas. La investigación se desarrolló mediante una prueba comparativa de diferentes sistemas de jardines verticales en el mercado para contrastarlos con materas hechas a partir de llantas recicladas (Llanteras).

Se analizaron diferentes variables tales como: crecimiento, cobertura, humedad, estética, entre otras, con el fin de determinar la viabilidad de las Llanteras como una nueva forma de material para su uso en paredes vegetadas. Se estructuró tanto la prueba como la investigación como un proyecto capaz de ser gerenciado para que otras personas puedan implementarlo fácilmente y conozcan cada paso del proceso.

Se determinó la viabilidad de la Llantera y se comprobaron las buenas características del material para ser usado en jardines verticales. Así mismo se comprobó que no hay información nacional de fácil acceso ya que parece protegerse dentro del “know how” de compañías dedicadas a la elaboración de techos y paredes verdes.

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. PROBLEMA	13
2.1. Antecedentes.....	13
2.1.1. Superficies Vegetadas.....	14
2.1.2. Llantas.....	15
2.1.3. Usos de las llantas.....	18
2.1.4. Crecimiento de ciudades – Islas de calor.....	19
2.1.5. Incremento de la temperatura global.....	20
2.2. Pregunta de investigación.....	24
3. JUSTIFICACIÓN	25
4. OBJETIVOS.....	30
4.1. Objetivo General.....	30
4.2. Objetivos Específicos	30
5. MARCO TEÓRICO	31
5.1. Marco conceptual	31
5.1.1. Cambio Climático	31
5.1.2. Radiación Solar.....	35
5.1.3. Coeficiente de Absorción Solar y Emisividad de algunas Superficies Constructivas	37
5.1.4. Confort térmico y arquitectura bioclimática (A. Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, 2015c).....	39
5.1.5. Sostenibilidad.....	41
5.1.6. Soluciones desde la arquitectura y la construcción sostenible.....	45
5.1.7. Cubiertas Vegetadas.....	46
5.2. Estado del arte	50
6. METODOLOGÍA.....	53
6.1. Sistemas Seleccionados.....	53
6.1.1. Groncol	54

6.1.2.	Arquitectura más Verde (A+V)	56
6.1.3.	Babylon Jardines Verticales - Homecenter.....	57
6.1.4.	Llanta Reciclada (Llantera).....	58
6.2.	Proceso Técnico para la fabricación de “Llantera”	60
6.3.	Plantas Seleccionadas.....	65
6.3.1.	<i>Nephrolepis exaltata</i> (Nombre común: Helecho Boston).....	65
6.3.2.	<i>Vinca major variegata</i> (Nombre común: Vinca Verde)	66
6.3.3.	<i>Tradescantia zebrina</i> (Nombre común: Panameña)	67
6.3.4.	<i>Hedera sp.</i> (Nombre común: Miami).....	68
6.4.	Riego	69
6.4.1.	Agua lluvia Vs Agua grifo.....	72
6.5.	Sustrato.....	72
6.6.	Ubicación	73
6.7.	Definición de las variables	74
6.7.1.	Peso - Cuantitativo	75
6.7.2.	Humedad de la pared - Cuantitativa.....	76
6.7.3.	Estética – Cualitativa	77
6.7.4.	Impacto Ambiental – Cuantitativa	78
6.7.5.	Cobertura Vegetal – Cuantitativa.....	78
6.7.6.	Durabilidad Vegetal – Cuantitativa	79
6.7.7.	Mantenimiento de las plantas – Cuantitativo.....	80
6.7.8.	Costo Mantenimiento – Cuantitativo	81
6.7.9.	Costo Sistema – Cuantitativo.....	81
7.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82
7.1.	Peso – Cuantitativo.....	85
7.2.	Humedad de la Pared – Cuantitativo.....	87
7.3.	Estética – Cualitativa.....	88

7.4.	Impacto Ambiental – Cuantitativa	90
7.5.	Cobertura Vegetal – Cuantitativa.....	92
7.5.1.	Cobertura Vegetal – Plantas.....	93
7.5.2.	Cobertura Vegetal – Sistemas Jardines Verticales.....	98
7.6.	Durabilidad Vegetal – Cuantitativa.....	103
7.6.1.	Helecho (<i>Nephrolepis exaltata</i>).....	104
7.6.2.	Vinca (<i>Vinca major variegata</i>).....	106
7.6.3.	Panameña (<i>Tradescantia zebrina</i>).....	107
7.6.4.	Miami (<i>Hedera</i>)	109
7.7.	Mantenimiento de las plantas – Cuantitativo	110
7.8.	Costo Mantenimiento – Cuantitativo	110
7.9.	Costo Sistema – Cuantitativo	111
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo desarrolla un análisis comparativo entre diferentes sistemas de paredes verdes, con el fin de determinar la viabilidad de una materia fabricada a partir de llantas recicladas para uso en una pared verde. Se realizó un estudio experimental por un período de doce semanas durante el cual se evaluaron indicadores tales como peso, humedad, estética, cobertura, costo del sistema, entre otros; los cuales permitieron evaluar los diferentes sistemas de paredes verdes. En este trabajo la viabilidad se refiere al resultado final de cada uno de los indicadores evaluados en cada sistema. Es decir la viabilidad está directamente relacionada con el desempeño de los indicadores evaluados.

De esta manera se logró analizar el desempeño del producto (materia fabricada a partir de llanta reciclada) en su entorno, en su función intrínseca de permitir la supervivencia y crecimiento de la planta en una pared vegetada. La viabilidad se refiere específicamente a esa función intrínseca y a los resultados obtenidos en el comportamiento de cada indicador, por lo tanto se puede describir como una viabilidad funcional y ambiental.

Hoy en día el medio ambiente se encuentra gravemente afectado a nivel mundial por sus altas emisiones de dióxido de carbono (CO_2). Los bosques están siendo talados de manera alarmante, las ciudades siguen su crecimiento acelerado, los vehículos siguen generando desechos de llantas en grandes cantidades, y estos son solo unos de los muchos problemas que la humanidad enfrenta en la actualidad.

El sector de la construcción se encuentra en el centro de las polémicas ya que se le acusa de ser una de las principales causas que afectan el cambio climático, principalmente por el efecto “isla de calor”. “La isla de calor” es un fenómeno causado por la gran masa de hormigón, asfalto (vías) y demás materiales absorbentes de calor que afecta el clima urbano,

lo que causa que la temperatura del aire este por encima de la media de las ciudades. Esto evita que el calor se disipe causando diferencias de temperatura y atrayendo fenómenos meteorológicos inexistentes en otros periodos de tiempo (Schiller, Evans, & Katzschner, 2001). Por lo cual es necesaria otra propuesta desde el campo de la construcción con el fin de hacer edificios confortables, funcionales y ambientalmente responsables, para lo cual hay propuestas de ahorro de energía, reutilización de agua, y los techos y paredes verdes. Estos últimos ayudan a reemplazar la capa vegetal perdida ante las construcciones en concreto, disminuyendo el impacto de la isla de calor.

En momentos en los que el cambio climático está llegando a un punto crítico, es importante que en Colombia encontremos soluciones que nos permitan generar proyectos sostenibles y que se puedan desarrollar en todos los niveles socio-económicos para que se puedan masificar.

Según el Grupo del Banco Mundial (2011), Colombia es el país número 46 con mayor nivel de CO₂ en el mundo. Este dato es alarmante y es necesario tomar acciones inmediatas que sean implementadas y acatadas por los entes privados (constructoras), los gubernamentales y el público en general. Las constructoras podrían adoptar el uso de techos y paredes verdes, o por lo menos uno de estos dos en sus proyectos y el gobierno podría implementar exenciones de impuestos, beneficios económicos como por ejemplo en las tasas de interés o simplemente obligar mediante leyes ambientales a que un porcentaje de los techos en una edificación sean verdes. El público en general puede abordar esta tendencia e implementarlo en sus residencias y oficinas, para este caso es más sencillo el uso de jardines verticales que el de techos verdes.

Mediante el uso tanto de techos como de paredes verdes se aporta a la reducción de estos GEI antropogénicos y así empezar a reducir estas cifras mundiales apuntándole a que Colombia se convierta en un país CO₂ neutral.

Los proyectos de techos y paredes verdes que sean de calidad en Colombia, terminan por tener un costo significativo en los proyectos, en consecuencia se han presentado tres fenómenos: 1) su uso es considerado exclusivo para los estratos altos, dado que el margen financiero para las constructoras se reduce al usar estas tecnologías ecológicas y no resulta viable en estratos medios o bajos. 2) no existen incentivos gubernamentales para los entes privados para masificar su utilización. 3) la desinformación y la ausencia de manuales técnicos a los que las constructoras puedan acceder, todo el conocimiento se encuentra en las empresas dedicadas a la elaboración de las paredes y techos verdes. 3) Greenwashing, es decir, se ofrecen estos elementos verdes a menores costos pero realizados de manera inadecuada, con vegetación incorrecta y no autóctona, sin los nutrientes requeridos (sustrato), con altos consumos de agua por filtraciones debido a malos sistemas de drenaje y riego, etc., prometiendo un producto como sostenible cuando realmente no lo es, afectando negativamente la imagen de estos sistemas.

Adicional a esto la problemática mundial de las llantas en desuso ha alcanzado cifras alarmantes, solo por mencionar unas cifras, en EEUU son desechadas 285 millones de llantas por año. En México anualmente quedan en desuso 25 millones de llantas (Coimbra, 2009). En Colombia alcanza una cifra de 4.5 millones de llantas por año, sin embargo la mayoría de estas terminan en sitios no aptos para su correcto almacenamiento o en los espacios públicos de las ciudades, generando graves consecuencias en términos ambientales, económicos y sanitarios. Estas llantas desechadas son el hábitat perfecto de vectores negativos tales como

mosquitos y ratas transmisores de enfermedades como el dengue o la fiebre amarilla (Costa, 2010).

El trabajo que se presenta a continuación está centrado particularmente en la Sabana de Bogotá, en Chía – Cundinamarca, sin embargo puede aplicar a otros municipios de esta región por tener condiciones climáticas y vegetación similar, es además el área de influencia de la constructora de mi familia, por lo cual presenta un interés personal.

2. PROBLEMA

2.1. Antecedentes

A nivel mundial la contaminación es un tema que nos compete a todos y que por lo tanto se deben tomar medidas inmediatas para contrarrestar los daños ocasionados por la humanidad. Por ejemplo, entre los años 2000 y 2010 los Gases de Efecto Invernadero (GEI) antropogénicos han crecido un total de 10 GtCO₂ de los cuales los sectores industriales que más emisiones aportan directamente son los siguientes: agricultura, bosques y otros usos del suelo con el 24%; la construcción con un 6.4%; transporte 14%; la industria en general 21%; otras energía 9.6% (The Intergovernmental Panel On Climate Change, 2015).

Así mismo, Colombia cuenta con graves problemáticas ambientales y su capital Bogotá, tiene 7.878.783 habitantes según proyección al 2015 del censo realizado en el 2005 (DANE, 2010) y debido a esto su densidad es muy alta. Esto conlleva a tener que aumentar las zonas urbanas y de construcción reduciendo así las zonas o espacios verdes de la ciudad con apenas un 4.93 M² de los 9 M² que debería tener cada habitante según la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2015). Esto por consiguiente afecta directamente al cambio climático, el calentamiento global, el incremento de inundaciones, el efecto de isla calor, la pérdida de biodiversidad, la polución atmosférica y la emisión de gases que aumentan el efecto invernadero (Secretaria General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2009).

2.1.1. Superficies Vegetadas

En Bogotá hay un Proyecto de Acuerdo No. 386 de 2009 del Concejo de Bogotá que promueve las tecnologías de techos y paredes verdes, para implementarlas en la capital del país (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2009). El Acuerdo reconoce que las cubiertas verdes son una alternativa ecológica para contrarrestar las problemáticas ambientales. “Esta tecnología contribuye en su implementación a que las ciudades transformen una superficie disponible e inutilizada en casi todos los casos y hagan de los techos unos instrumentos para el mejoramiento ambiental, ecológico, energético y social. “Esta sustentabilidad es tan necesaria para el crecimiento y desarrollo de nuestras ciudades, hasta el punto que por cada nuevo espacio urbano que se cree, es necesario crear también uno verde para así generar el equilibrio deseado” (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2009).

La Ley 152 de 1994 es la ley Orgánica del Plan de Desarrollo y regula los planes de desarrollo del país, obliga a todos los entes de planeación urbanística de Colombia a respetar el medio ambiente para garantizar a las actuales y futuras generación una adecuada oferta ambiental, así como también a destinar un porcentaje de las construcciones desarrolladas para jardines, zonas verdes y terrazas (El Congreso de Colombia, 1994).

En el país, al no existir una normativa sobre el tema de techos o paredes verdes que obligue o incentive su utilización entre muchos otros, a los constructores, solo algunos edificios y entidades privadas por iniciativa propia han implementado el sistema.

Los techos y paredes verdes se remontan al año 800 a.C. donde los babilonios utilizaron conceptos primitivos sobre la técnica de los ecosistemas verticales para sus famosos jardines colgantes. En el año 1000 D.C los vikingos en la península escandinava los usaban para regular su temperatura en techos y paredes, haciendo más cálidas las casas durante el invierno

y más frescas durante el verano en su interior. En Alemania ya en años más recientes, pioneros en el mundo, se empezaron a desarrollar desde la década de 1960, involucrando nuevas tecnologías y diferentes sistemas como paneles, geomallas o materas superpuestas (Sonalo, 2015).

Los techos y paredes verdes han tenido gran acogida en diferentes lugares del mundo, e incluso en ciudades y países como Suiza, Noruega, Vancouver, Chicago, Londres, Singapur y Tokio han creado leyes que obligan a los constructores a cubrir el 20% del área de las terrazas de sus edificios, con plantas o árboles de mediano tamaño (Construdata, 2013)

En el mundo esta iniciativa lleva más de cinco décadas, pero en Colombia ha sido una tecnología desarrollada en los últimos años, y no ha alcanzado los niveles de planeación y expansión de otros países. El estado del arte es de propiedad privada o es el “Know-how” de empresas, quienes por razones comerciales y económicas no comparten sus conocimientos. Esto ha hecho que la tecnología sea costosa y esté solo al alcance de unos pocos, mientras que en Alemania actualmente el 15% de sus cubiertas son techos verdes (Construdata, 2013).

2.1.2. Llantas

Como se puede apreciar, la problemática ambiental en Colombia y en el mundo es dramática y se deben implementar medidas no solo para los gobiernos sino para el público en general. Las llantas en el mundo se han convertido en una problemática ambiental de gran magnitud y son consideradas como uno de los principales materiales contaminantes, es por esta razón que este trabajo busca una forma de aportar a incrementar e incentivar el uso de llantas desechadas para reducir la brecha existente entre las llantas reutilizadas y las que terminan en botaderos o calles.



Figura 2.1. Llantas en desuso (Martinez, 2014)

En Colombia el Ministerio de Medio Ambiente publicó en julio del 2010 la Resolución 1457, en la que se obliga a presentar e implementar los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas. Lo anterior con el fin de poder prevenir y controlar la degradación ambiental (Ministerio de Ambiente, 2010). En muchas ocasiones si esto no se cumple las llantas en desuso terminan en botaderos ilegales los cuales terminan por quemar las llantas por falta de espacio, esto sin contemplar los riesgos tanto ambientales como de salud a las personas. Según el estudio “An Environmental Impact Assessment of the Open Burning of Scrap Tires” se concluye que existe una fuerte evidencia que señala que la quema de llantas a cielo abierto genera una cantidad significativa de contaminación en la atmósfera y adicionalmente emite componentes peligrosos que afectan negativamente la salud de las personas (Ziadat & Sood, 2014). En este mismo estudio recomiendan desarrollar programas que incentiven la reutilización de llantas.

TIPO DE VEHÍCULO	A	B	C
	Número de vehículos	Llantas / Vehículo	A x B Total llantas en uso
PARTICULAR (91%)			
Automovil R-13	637,637	4	2,550,548
Automovil R-14	63,063	4	252,252
Camión	18,200	6	109,200
Camioneta	81,900	4	327,600
Campero	72,800	4	291,200
Motos	36,400	2	72,800
SUB - TOTAL	910,000		3,603,600
PÚBLICO (9%)	Número	Llantas / Vehículo	Total llantas en uso
Taxi R-13	49,959	4	199,836
Taxi R-14	4,941	4	19,764
Bus	11,700	6	70,200
Buseta	9,900	4	39,600
Camioneta	5,400	4	21,600
Campero	3,600	4	14,400
Microbus / Colectivo	4,500	4	18,000
SUB - TOTAL	90,000		383,400
TOTAL	1,000,000		3,987,000

Tabla 2.1. Uso total de llantas por el parque automotor en Bogotá por tipo de vehículo (Union Temporal OCADE Ltda, SANIPLAN, & AMBIENTAL S.A., 2011)

Según la tabla anterior podemos observar la cantidad de llantas que para el año 2011 el parque automotor usaba (3.987.000) en la ciudad de Bogotá. Un vehículo promedio anualmente recorre un máximo entre 20.000 km y 25.000 km, es decir un promedio de 22.500 km (Carroya, 2014). Por otro lado, una llanta puede llegar a tener una duración máxima en kilómetros de 45.000, esto dependiendo de la velocidad y la forma de manejo del conductor podría reducirse (Michelin, 2010). Por lo tanto un vehículo en el mejor escenario tiene que cambiar de llantas cada dos años, lo cual para este ejercicio equivale a 1.993.500 llantas desechadas anualmente únicamente para la ciudad de Bogotá, razón por la cual urge encontrar otras alternativas a las ya existentes para aumentar la reutilización de neumáticos. Las llantas por si solas no son biodegradables y se pueden demorar en descomponerse aproximadamente 500 años (Ochoa, 2008).

2.1.3. Usos de las llantas

Uno de los usos más conocidos en la actualidad para la llanta reciclada es la usada para el concreto en la cual la llanta se tritura y se le agrega a la mezcla. Sin embargo cabe resaltar que los porcentajes apropiados para no afectar esta mezcla que aconsejan es el 5% (Valadares, Bravo, & de Brito, 2012). En otro trabajo realizado en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, se concluyó que es posible usar un porcentaje un poco mayor del 5% de llanta reciclada triturada en la combinación, ya que a pesar de encontrar reducciones en las propiedades mecánicas y de durabilidad en comparación con la mezcla sin llanta triturada, estas no son muy altas siempre y cuando se trabaje con valores de hasta el 10% para la mezcla y de esta manera minimizar los impactos negativos (Torres, 2014).



Figura 2.2. Llanta triturada, Llancreto (Cemex Concretos, 2015)

Debido a este problema de las llantas desechadas, la ingeniería y la arquitectura han encontrado diversos usos para las llantas recicladas, algunos de los usos mencionados en su tesis de maestría por el autor Jorge Paz (2015) son como muros portantes, muros de gavión o colectores de aguas servidas, entre otros. Sin embargo, estos son casos aislados y las llantas no son usadas para estos fines de forma masiva.



Figura 2.3. Muros portantes (Paz, 2015)

Otros usos que los artistas le han dado a las llantas recicladas es para la elaboración de esculturas, materas y como muebles para jardines o salas. De esto se encuentran diversos videos de cómo realizarlos paso a paso (Mendoza, 2015).



Figura 2.4. Manualidades con Llantas (Consejos, 2015)

2.1.4. Crecimiento de ciudades – Islas de calor

Según datos del Banco Mundial (2014) la población mundial para el año 2014 fue calculada en 7.260.652.256. En la gran mayoría de los países se han presentado crecimientos sostenibles a lo largo de los años, este crecimiento genera que más personas necesiten un techo bajo el cual puedan vivir y las ciudades son para la mayoría su principal opción. Lo anterior es lo que ha generado que las ciudades se encuentren saturadas de edificios hechos

de concreto, material que absorbe y acumula el calor en mayor proporción que una zona vegetada, razón por la cual las ciudades muestran un incremento en su temperatura a lo cual se le conoce como “isla de calor”. Las ciudades deben reinventarse permitiendo más zonas verdes y menos interrupciones del cauce natural del ciclo del agua (Li, Bou, & Elie, 2013).

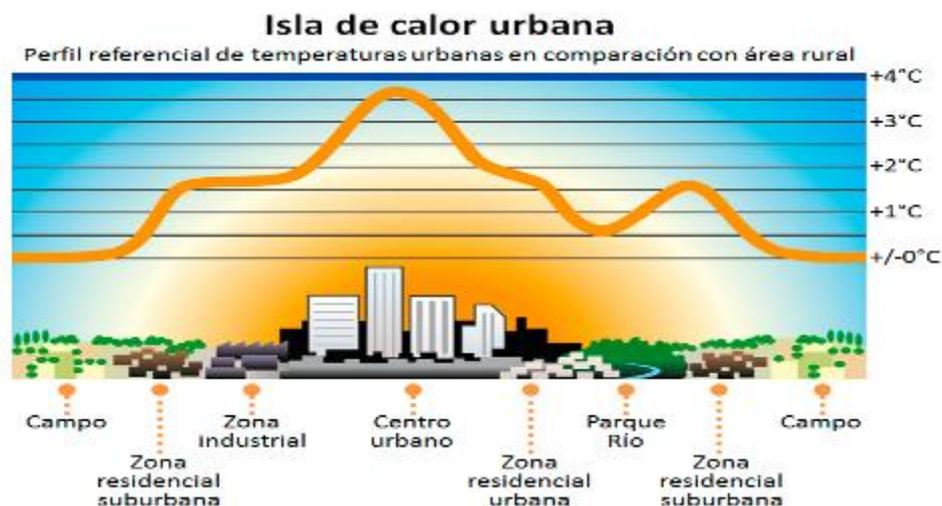
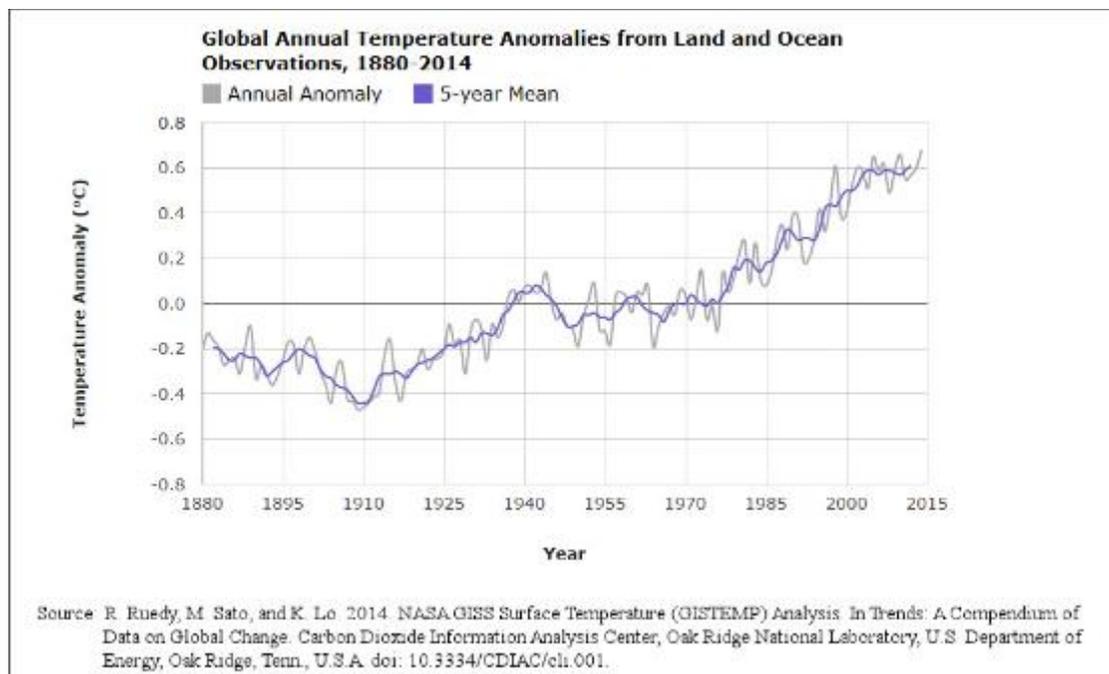


Figura 2.5. Isla de calor urbana (Blender, 2015)

2.1.5. Incremento de la temperatura global

De acuerdo con el Carbon Dioxide Information Analysis Center y el National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), que ha estudiado las anomalías en las temperaturas de la tierra y el mar desde 1880 hasta la actualidad, las cifras muestran una gran variabilidad desde 1920. De 1920 a 1940 se presentó un incremento de 0.3 °C en la temperatura, seguido de un enfriamiento dramático en 1960. Desde 1970 hasta años recientes se muestra un aumento en la temperatura de 0.6 °C. Según la gráfica 2.1 y la tabla 2.1, desde 1880 los años con mayores incrementos de temperatura han sido 1998, 2005, 2010, 2012, 2013, 2014 y 2015, lo cual se puede observar en el ranking de la tabla de las anomalías en la temperatura global de la tierra y el océano.

Los diez años más calientes se presentaron todos a partir del 2000, de un total de 134 años que se tienen de información (Ruedy, Sato, & Lo, 2014). El estudio se realiza sobre el incremento o variabilidad en la temperatura global, denominados como anomalías, ya que lo deseable para los mencionados centros de investigación es la estabilidad en la temperatura. Por lo anterior el estudio se realiza sobre las diferencias e incrementos en las temperaturas y no sobre la temperatura absoluta, pues lo que se necesita resaltar es la cantidad de grados que se incrementó o disminuyó la misma en cada año.



Grafica 2.1. Anomalías en la temperatura global (°C) anual en tierra y mar, 1880 – 2014

(Carbon Dioxide Information Analysis Center, 2014)

GLOBAL LAND AND OCEAN TEMPERATURE ANOMALIES

YEAR	ANOMALY	RANK
1990	0.34°C	5
1991	0.44°C	9
1992	0.13°C	1
1993	0.23°C	2
1994	0.31°C	3
1995	0.42°C	8
1996	0.32°C	4
1997	0.50°C	11
1998	0.73°C	25
1999	0.40°C	7
2000	0.39°C	6
2001	0.56°C	14
2002	0.62°C	17
2003	0.54°C	13
2004	0.48°C	10
2005	0.65°C	20
2006	0.62°C	16
2007	0.53°C	12
2008	0.58°C	15
2009	0.64°C	19
2010	0.73°C	24
2011	0.62°C	18
2012	0.68°C	22
2013	0.67°C	21
2014	0.69°C	23
2015	0.81°C	26

Tabla 2.1. Anomalías en la temperatura global en la tierra y el océano (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2016)

Adicionalmente, según las naciones unidas en su informe de 2013 para los objetivos de desarrollo del milenio, en el 2010, en América del Sur, entre los años 2005 y 2010, han sido talados aproximadamente unos 3.6 millones de hectáreas de bosque por año (Naciones Unidas, 2013)

La captación de gases de efecto invernadero y material particulado así como la reducción de la “isla de calor”, son acciones especialmente importantes para mitigar el impacto ambiental de la construcción.

En estas problemáticas las paredes verdes tienen un impacto positivo y de ahí surgen los planteamientos y marco teórico del presente trabajo de investigación.

Tratando de traer mis intereses en la construcción y el diseño arquitectónico a un tema que pudiera aplicar en mi trabajo de grado, empecé a investigar sobre toda la problemática ambiental alrededor del desarrollo urbano y el crecimiento de nuestra civilización. La realidad es que las ciudades van a continuar creciendo y que nuestra demanda de bienes y recursos seguirá aumentando, y por lo tanto hay que buscar maneras sostenibles de construir las ciudades sin afectar a nuestro entorno.

Inspirado en la sostenibilidad hay un movimiento que invita a traer la naturaleza a las ciudades, y una buena forma de hacerlo es usando mas plantas e incrementando las superficies vegetadas, ya que ayudan con la disminución de dióxido de carbono, absorben material particulado, ayudan en el proceso de retención y drenaje hidráulico, disminuyen el efecto isla de calor, generan espacios amigables y protegen los edificios de la intemperie.

Uniendo los beneficios de las plantas con la reutilización de las llantas surge la pregunta de investigación del presente trabajo, se trata de encontrar formas de traer las plantas a la ciudad para hacerla mas sostenible, y de reutilizar materiales ya disponibles como las llantas desechadas para evitar el excesivo consumo de materias primas. Partiendo de esta idea se construye el presente trabajo, donde se busca experimentar, desarrollar y crear una pared verde para analizar la viabilidad de la idea que ha surgido y ha derivado en la siguiente pregunta de investigación.

2.2. Pregunta de investigación

Basado en los planteamientos realizados anteriormente la pregunta que se busca resolver a lo largo de la presente investigación es:

¿Cómo determinar la viabilidad del sistema de paredes verdes mediante el uso de llantas recicladas en un modelo a escala?

Esta pregunta es importante desglosarla en los siguientes puntos:

- ¿Cuáles son los indicadores a tener en cuenta para evaluar los resultados obtenidos, que se pueden aplicar en un modelo a escala?
- ¿Cómo este modelo a escala de llanta reciclada puede ser una alternativa para las llantas en desuso?
- ¿Qué condiciones otorga la llantera a las plantas para generar un ambiente en el que puedan vivir y crecer adecuadamente?

3. JUSTIFICACIÓN

Es necesario tomar medidas que contribuyan a la disminución del dióxido de carbono (CO₂) para reducir los gases de efecto invernadero. Este proyecto ayuda en este aspecto al pertenecer a la categoría de infraestructura vegetada, debido a que las plantas generan el ciclo del carbono en el cual el dióxido de carbono es reciclado, convertido en oxígeno y reutilizado por todos los seres vivos en el mundo. Sin embargo, la diferencia de este proyecto radica en que la Llantera se comporta de la misma manera que lo hacen los mejores sistemas de paredes verdes, pero su costo es inferior al de sus competidores permitiendo que un mayor número de personas lo puedan adquirir y no esté limitado para edificaciones en estratos altos.

Adicional al beneficio que ya de por sí conllevan las plantas que se siembran en las paredes vegetadas, con la Llantera este proyecto ataca otra problemática mundial como lo es la acumulación de llantas en desuso al reutilizarlas y conseguirles un nuevo propósito. Así mismo se ayuda a aumentar el número de implementaciones de infraestructuras vegetadas, y ante una mayor cantidad de paredes verdes habrá una menor cantidad de llantas desechadas en botaderos.

Hoy en día las ciudades en el mundo están creciendo constantemente generando así una necesidad de cambiar los suelos rurales (vegetación) por suelos urbanos (vías y edificaciones) que se puedan construir. Las vías y edificios absorben el calor del sol aumentando la temperatura en las ciudades generando un efecto de isla calor en estas zonas. Las cubiertas verdes tanto en techos como en paredes ayudan a que la temperatura no aumente, al esconder del sol el concreto y demás elementos constructivos con una capa de vegetación, incluso contribuyen al incremento del área vegetada al usar también las paredes de los edificios para

instalar vegetación. La Llantera ayuda a que la gente pueda acceder a estos sistemas de infraestructura vegetada sin requerir una inversión costosa, reutilizando un material de difícil reciclaje (llantas) y contribuir al medio ambiente sembrando plantas en las paredes de su vivienda, que convierten el CO₂ en O₂.

El proyecto es importante porque permite implementar de una manera más sencilla y amigable con el medio ambiente las paredes verdes. No se pretende ser egoístas con la información ya que el fin no es de lucro, sino brindar conocimiento para facilitar el uso generalizado de las llantas recicladas convertidas en materas. El objetivo es masificar el uso de tecnologías sostenibles, en particular de paredes verdes, para mitigar el impacto ambiental causado por el ser humano.

Cuando una fuente de conocimiento está estrechamente relacionada con el lucro usualmente poca gente la conoce, hay pocas estadísticas y el estado del arte se ve afectado al no avanzar a ritmos más productivos. Luego la solución de problemas y deficiencias en la implementación de paredes verdes no es tan fácil, se trata mucho de prueba y error y se convierte en algo costoso y desmotivante para las personas o constructoras que lo deseen implementar en sus inmuebles. A esto se le suma que ninguna de las partes cuenta con grandes recursos destinados para las paredes vegetadas, en consecuencia algo que podría beneficiar de manera general la calidad de vida y la salud, se convierte en algo exclusivo y excluyente porque no se implementa en estratos socioeconómicos bajos, ni en proyectos con presupuesto limitado.

Adicionalmente el espacio disponible en las ciudades juega un papel crucial, porque no hay grandes parques, ni zonas verdes y el valor de la tierra hace difícil que las ciudades puedan

adquirir terrenos para reforestar. Sin embargo, considero que la reacción ante estas realidades puede ser más proactiva e innovadora, utilizando la tecnología de jardines verticales.

Al evidenciar las ventajas de reciclar las llantas convirtiéndolas en materas y explicar su proceso constructivo con el paso a paso (técnico, financiero, ambiental), las variables a tener en cuenta en el análisis comparativo, desglosando y simplificando los proyectos de paredes verdes; habrá mejor estado del arte y los empresarios encontrarán un proceso más sencillo, desmitificado y con un alto aporte al medio ambiente.

Adicionalmente al hacerse masificado, los costos se reducirán debido a la producción en serie / masa. Y la generalización también beneficiará al medio ambiente, dados los beneficios tanto de las paredes verdes como de la reutilización de las llantas.

En internet se encuentra mucha información de “Hágalo Usted Mismo” de cómo hacer paredes verdes para casas (Warburton, 2009), sin embargo no hay guías que desde el punto de vista de gerencia de ingeniería, tengan en cuenta aspectos financieros, técnicos y de planeación, necesarios para un óptimo desarrollo y para una posible masificación del sistema. La idea es liderar la iniciativa tanto en personas naturales como en empresas y permitir que el “know-how” del sistema aquí expuesto se comparta y expanda.

Ante la ausencia de fuentes técnicas que profundicen en el adecuado desarrollo, planeación y supervisión de la construcción de paredes verdes, el mercado se inunda de productos, servicios y certificaciones que se venden como soluciones sostenibles y realmente no son tales, este fenómeno se conoce como “greenwashing” (A. Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, 2015b).

Desde la Ingeniería se busca estructurar y organizar los proyectos para encontrar soluciones, y la Gerencia de Ingeniería busca desarrollarlos de tal manera que se ejecuten con eficiencia y eficacia. Para evitar el “greenwashing” no basta con remitir a los usuarios de paredes verdes a grandes compañías o llevarles a creer que al pagar más obtienen mejores resultados; es necesario conectar las ventajas de las paredes verdes con el adecuado manejo e implementación del programa para maximizar su beneficio.

Aplicar la Gerencia de Ingeniería permite evaluar la viabilidad de la reutilización de llantas desde una metodología organizada y desarrollar un programa de evaluación e implementación de paredes verdes, que facilite el uso de materiales existentes, de fácil acceso y que adicionalmente solucionan problemáticas ambientales de gran impacto como el desecho de llantas.

Se escoge este enfoque porque como socio de una PYME constructora y empresa de familia, he experimentado de primera mano las limitaciones en presupuesto, la falta de información pública o compartida por participantes en el sector y las limitaciones para disminuir el impacto ambiental de la construcción.

No es fácil dejar de usar la materia prima (cemento, hierro, ladrillo, agua), como tampoco es fácil incrementar los precios para poder contratar a un tercero para implementar los techos y paredes verdes, ya que se dejaría de ser competitivo en el mercado.

Por lo anterior el enfoque busca, desde el liderazgo y la innovación simplificar un proceso para generar mayor competitividad y lograr motivar a las personas y empresas constructoras a ser parte de la solución ambiental, porque de otra manera es desmotivante y en consecuencia el país no dará el paso hacia la sostenibilidad.

El propósito de este trabajo es contribuir al estado del arte con una investigación seria y estructurada que ofrezca conocimiento al alcance de todos sobre este sistema en específico, y en particular a las pequeñas y medianas empresas, que tienen recursos limitados, para que mediante guías y la adecuada gerencia de proyectos puedan implementar más paredes verdes en Colombia.

Así mismo busca acercar las paredes verdes a las personas y/o constructoras, para dar a conocer los beneficios que generan su uso masivo, no sólo para las empresas que podrán acceder a este análisis comparativo, sino también para la calidad de vida y salud ambiental de la ciudad.

El presente trabajo se apalanca en estudios del medio ambiente, y en la necesidad de actuar como sociedad, buscando soluciones desde la Ingeniería, para mejorar los espacios que se construyen en las ciudades y disminuir el impacto negativo al medio ambiente.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Determinar la viabilidad de las llantas recicladas como material de uso aplicado a paredes verdes en un modelo a escala.

4.2. Objetivos Específicos

- 1) Identificar los indicadores necesarios para determinar la viabilidad de un modelo a escala en un sistema de paredes verdes con llantas recicladas.
- 2) Describir los beneficios de la implementación y del crecimiento de las plantas mediante el uso de llanta reciclada como materia en una pared vegetada.
- 3) Determinar el proceso técnico para la creación de un modelo a escala de paredes verdes, facilitando el uso de llantas recicladas como materia.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Marco conceptual

5.1.1. Cambio Climático

La escala global de concentración de gases anterior a 1750 se asume que no era influenciada por actividades humanas. Sin embargo, es muy probable que la agricultura haya afectado el aumento en la concentración de metano alrededor de 1800, mientras que la concentración de materiales producidos por la industria manufacturera en la era preindustrial es cero. Toda esta información se ha obtenido gracias a la distribución de estaciones meteorológicas alrededor del planeta y el análisis del hielo obtenido de gran profundidad en la Antártida (The Carbon Dioxide Information Analysis Center, 2015).

La investigación y el estudio climático han permitido reconocer fenómenos de cambio en la temperatura global y los factores que los generan. En la Figura 5.1. se muestra como cuando la luz solar llega a la Tierra unos rayos son reflejados por la atmosfera y por la superficie del planeta, mientras que otros se quedan calentando la superficie terrestre. Aproximadamente la mitad de la radiación solar es absorbida por la superficie terrestre calentándola. La radiación infrarroja es emitida desde el suelo en todas las direcciones y a este proceso se le conoce como el Efecto Invernadero (IPCC, 2007).

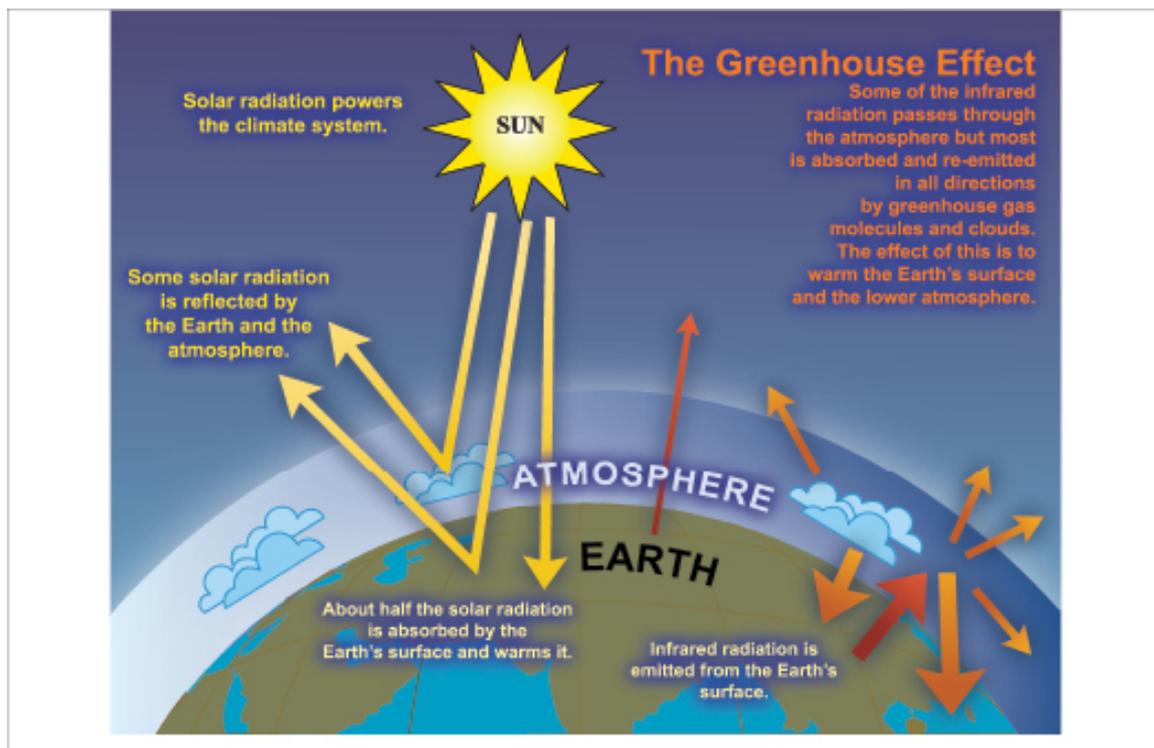


Figura 5.1. El Efecto Invernadero (IPCC, 2007)

La contaminación a nivel mundial ha alcanzado cifras alarmantes en los últimos tiempos. Desde el año 1970 al 2000 los Gases de Efecto Invernadero (GEI) de origen antropogénico han venido creciendo en promedio a una tasa de 0.4 (1.3%) gigatón de dióxido de carbono (GtCO₂eq) por año, mientras que en los años 2000 al 2010 ha crecido en promedio a una tasa anual de 1.0 GtCO₂eq (2.2%) y alcanzó los 49 GtCO₂eq en el año 2010. De este total el CO₂ aporta en un 76% a los gases de efecto invernadero (The Intergovernmental Panel On Climate Change, 2015).

Según el panel intergubernamental sobre el cambio climático o por sus siglas en inglés IPCC (2015), el nivel acumulado de CO₂ en el año 1970 debido a los combustibles fósiles, producción de cemento y a quemas e incendios, era de aproximadamente 420 GtCO₂, mientras que para el año 2010 este acumulado se triplicó y alcanzó los 1300 GtCO₂ (aprox.).

Una de las causas de este incremento de CO₂ es debido al tamaño de los bosques y al cambio de usos del suelo. Las anteriores cifras también son soportadas por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (2015) donde se muestra el incremento en las tasas de crecimiento de los gases de efecto invernadero ilustrado en la Figura 3.2.

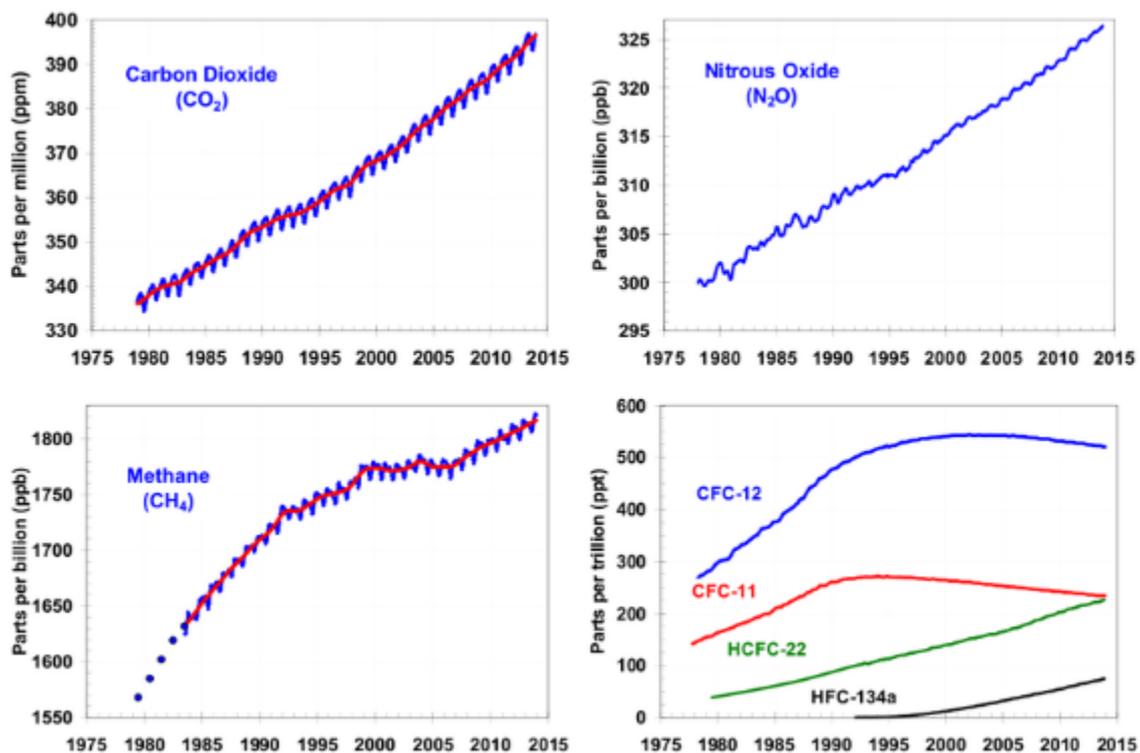


Figura 3.2. Tasa de Crecimiento de Gases de Efecto Invernadero (National Oceanic & Atmospheric Administration, 2015)

Otro de los causantes del cambio climático es el uso poco sostenible de los materiales. Actualmente la industria genera la tala de bosques, se contamina el agua, se usan combustibles fósiles para movilizarse o para impulsar las máquinas. La construcción por su parte es uno de los sectores más contaminantes por encima de la industria y el transporte, esto debido a que consume grandes cantidades de recursos naturales y emisiones de CO₂ durante la etapa de construcción y posteriormente por el resto del ciclo de vida que tenga el inmueble. El consumo estimado para el agua potable de los edificios a nivel mundial se encuentra

alrededor del 17%, el 25% de la madera cultivada y entre el 30% y 40% de la energía, tal y como se puede apreciar en la sección “La Construcción Verde y su Aporte a la Sostenibilidad” del acuerdo de ley No. 386 (2009). Este ritmo de consumo no es sostenible ya que supera a la tasa de producción o recuperación de los materiales, lo que pone en peligro el uso de estos mismos elementos a mediano y largo plazo.

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) por cambio climático se entiende como “el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.” Adicionalmente se entiende por efectos adversos del cambio climático “los cambios en el medio ambiente físico o en la biota resultantes del cambio climático que tienen efectos nocivos significativos en la composición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas naturales o sujetos a ordenación, o en el funcionamiento de los sistemas socioeconómicos, o en la salud y el bienestar humanos” (Naciones Unidas, 1992).

La propuesta actual sobre el cambio climático es coordinar las acciones ambientales de manera integrada con el desarrollo social y económico para permitir estabilidad en la economía mundial, pero reconociendo que el cambio climático afecta fuertemente a la sociedad y a las poblaciones vulnerables. El propósito es lograr un crecimiento económico sostenido y la erradicación de la pobreza para lo cual los países necesitan tener acceso a los recursos, incluso necesitaran aumentar su consumo de energía, especialmente los países en desarrollo, para lo cual es necesario la investigación, la innovación y la aplicación de nuevas tecnologías, en condiciones que las hagan económicas y socialmente beneficiosas.

En el ciclo del aumento de la temperatura debido a los GEI, la energía solar cuenta con un papel importante. El sol provee a la tierra con la energía necesaria para la vida, los cambios de climas y estaciones son producidos por él, así como los ciclos de vida de las plantas. Pero cuando la energía solar no puede ser irradiada de vuelta al espacio porque los gases de la atmosfera (antropogénicos y no antropogénicos) no la dejan salir, se produce el efecto invernadero y en consecuencia se aumenta la temperatura global interna (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

Esta energía que no puede salir de la tierra regresa a la superficie y al no encontrarse con capa vegetal sino con materiales de nuestras vías y edificaciones es amplificada y reflejada de nuevo a la atmósfera, incrementando aún más la temperatura del planeta. Adicionalmente las edificaciones se calientan por efecto del sol produciendo la isla de calor, generando que nuestras ciudades estén más calientes entre más hormigón contengan y evitando que el calor se disipe, en consecuencia se incrementa la temperatura contribuyendo negativamente al cambio climático. Por eso en nuestras ciudades son cada vez menos predecibles y más fuertes los fenómenos meteorológicos.

5.1.2. Radiación Solar

Los fenómenos sobre la radiación del sol que se han explicado anteriormente inciden sobre las edificaciones, según Victor Olgyay (Olgyay, 2004) de cinco formas diferentes (A. Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, 2015a):

1. Radiación de onda corta directa del sol: es el porcentaje de radiación que incide sobre la superficie, en un día despejado y corresponde al 100%. En la construcción es importante tener en cuenta el clima en el cual se va a construir para poder utilizar adecuadamente esta radiación y contrarrestar sus efectos al interior de la edificación.

2. Radiación difusa de onda corta procedente de la bóveda celeste: es la recibida directamente del cielo, en días nublados alcanza el 15% y aumenta la humedad relativa. En climas cálidos es especialmente incómoda para los seres humanos.
3. Radiación de onda corta producto de la reflexión en los terrenos adyacentes: en una superficie horizontal incide más que sobre una superficie vertical, por lo que la superficie horizontal va a reflejar una cantidad considerable de calor hacia los edificios vecinos. Al tener este factor en cuenta en la construcción no se utilizan superficies reflectantes alrededor de la edificación.
4. Radiación de onda larga procedente del suelo y de los objetos cercanos: la temperatura que alcanza el suelo cercano al edificio por estar expuesto al sol lo afecta. Incluso en climas fríos según la investigación de Olgyay (Olgyay, 2004), cuando los suelos están expuestos directamente a la radiación del sol, pueden llegar a superar los 45° C, incluso cuando la temperatura ambiente es de 24° C. Por eso es importante considerar los materiales que están en el edificio y conocer su capacidad de retener y de disipar calor.
5. Radiación de onda larga expedida en intercambio desde el edificio hacia el cielo: lo ideal es que la radiación que se refleja hacia la atmósfera sea proporcional a la que recibe la tierra del sol. Las nubes interrumpen este proceso de radiación y por eso en climas con áreas muy nublosas se aumenta la humedad relativa; mientras que en climas desérticos, la ausencia de nubes genera que la radiación recibida del sol se disipe rápidamente hacia la atmósfera, por lo que las noches son muy frías. Los edificios desequilibran el intercambio de radiación de la tierra a la atmósfera y retienen energía calórica de acuerdo al material del que estén hechos, usualmente hormigón, por lo que calientan sus zonas circulantes y a gran escala las ciudades.

5.1.3. Coeficiente de Absorción Solar y Emisividad de algunas Superficies

Constructivas

El coeficiente de absorción o absortancia es la relación entre el flujo de radiación absorbida y la radiación total que incide sobre una superficie. Se puede establecer en relación con radiaciones de diferentes longitudes de onda, es común encontrar absortancia solar, visible y térmica (A. Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, 2015f).

Ante el panorama del cambio climático y el impacto que la construcción tiene en este, es importante seleccionar los materiales para las edificaciones, no solo por su aspecto y precio, hay que considerar su procedencia, el consumo de combustibles para su transporte (huella de carbono) el consumo de energía para producirlo y sus propiedades mecánicas y físicas que impactan la temperatura, el clima local y su posibilidad de reutilización.

Dos de los factores que se tienen en cuenta sobre los materiales de construcción están relacionados con la radiación que describimos anteriormente. Se les conoce como emisividad y coeficiente de absorción. La emisividad es la proporción de radiación térmica que un material u objeto emite debido a una diferencia de temperatura con su entorno (A. Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, 2015g).

MATERIALES (superficie)	Absortancia	Emisividad
Hoja de aluminio brillante	0.05-0.10	0.05-0.10
Lamina de aluminio con pátina de oxidación	0.30-0.50	0.20-0.50
Pintura de aluminio	0.40-0.55	0.40-0.55
Hierro galvanizado con patina normal	0.30-0.50	0.20-0.40
Encalado reciente	0.12	0.9
Madera	0.4	0.9
Ladrillo, Teja, Piedra	0.7	0.9
Concreto aparente	0.45-0.60	0.9
Pintura de aceite blanca	0.2	0.9
Pintura verde o gris, clara	0.4	0.9
Pintura verde o gris, oscura	0.7	0.9
Pintura negra, asfalto	0.85	0.9

Tabla 1: Coeficiente de Absorción solar y Emisividad de algunas superficies constructivas

(A. Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, 2015g)

Además de tener en cuenta como los materiales regulan la temperatura interna del edificio para lograr disminuir el uso de calefactores o aires acondicionados, también se deben considerar los cambios de temperatura que genera en los microclimas de la ciudad la huella energética y ambiental, las prácticas de producción, el uso de recursos no renovables, etc.

Si bien la construcción genera edificaciones donde los seres humanos pasan alrededor del 90% de su tiempo, no solo deben ser diseñadas para ser ocupadas, deben generar mayor calidad de vida a sus habitantes, cuidar su salud y ser confortables.

Por ejemplo en Alemania, entre el 2% y el 5% de la población sufre de dolores de cabeza, insomnio, cansancio y problemas de concentración, que tienen por causa contaminación bioconstructivas, edificios mal orientados, ausencia de ventilación natural, construcciones con problemas de sobre-calentamiento o sobre-enfriamiento, o lo que se conoce como edificios enfermos “Sick Building Syndrome (SBS)” (A. Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, 2015e).

Conforme a la Convención Marco de las Naciones Unidas, la sostenibilidad debe integrarse con el desarrollo económico y social, y como respuesta la arquitectura debe crear edificios ambientalmente correctos en los que se una la función, la forma y el confort. Sobre esta última característica la temperatura juega un papel crucial, ya que se relaciona tanto con el clima interno de la edificación como con la circulación de aire, la orientación adecuada para recibir luz, el control de la humedad y la calidad de vida que genera al habitarlo.

5.1.4. Confort térmico y arquitectura bioclimática (A. Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, 2015d)

La búsqueda de confort térmico ha llevado a crear edificaciones con aire acondicionado y sistemas de calefacción, lo que incrementa el consumo de energía y de combustibles fósiles, haciendo los edificios poco sostenibles.

El confort térmico está definido como la sensación de comodidad en la cual el cerebro no envía mensajes de calor o frío al cuerpo y este se siente en un estado climático neutral. Conforme a lo anterior, para la arquitectura es importante tener en cuenta la orientación del edificio entre oriente y occidente, los materiales aislantes y la circulación de aire.

El propósito de los materiales de la construcción debe ser no aumentar ni reducir la temperatura, sino poder conservar una temperatura interior adecuada al rango del cuerpo humano, evitando cambios drásticos entre el día y la noche, o temperaturas extremas según la estación; en consecuencia, se hace menos necesario usar calefacción o aire acondicionado.

Actualmente la arquitectura está usando diferentes variables para hacer una evaluación climática para poder implementar estrategias bioclimáticas en los proyectos de construcción. Se deben conocer los datos meteorológicos del lugar en el que se desarrollará el proyecto en un lapso mayor o igual a diez años, de no ser posible se toman los datos de mínimo un año. Los datos climáticos a tener en cuenta son: trayectoria e incidencia solar, horas de sol, altura, inclinación, recorrido, temperatura del lugar y punto del rocío, incidencia del viento, dirección, velocidad, tormentas, pluviosidad promedio del lugar, nevadas, niebla, porcentaje promedio de humedad relativa e índices de presión y vapor.

En la metodología desarrollada por Olgyay (2004) se propone desarrollar el diseño arquitectónico después del análisis climático, contrario a lo que pasa actualmente en donde se define la función y la forma del proyecto sin tener en cuenta las variables climáticas o solo teniéndolas en cuenta ligeramente.

Su metodología propone:

1. Análisis de los datos climáticos del lugar mencionados anteriormente.
2. Evaluación biológica, es decir analizar las sensaciones humanas y trazarlas sobre la misma gráfica de los datos del clima para encontrar los puntos en los que el ser humano se encuentra en confort.

3. Las soluciones tecnológicas, las cuales se involucran solamente después de haber analizado las variables biológicas. En este análisis se hace la elección del sitio a construir si es posible, o sino se procede a la orientación de la construcción para poder definir la interacción con elementos como el sol y el viento, las sombras, la forma del edificio (volúmenes compactos o aislados para conservar o perder energía respectivamente), los movimientos del aire y los materiales y sistemas constructivos.
4. Por último, se define la arquitectura que surge como respuesta lógica a los análisis anteriores.

5.1.5. Sostenibilidad

Desde 1987 ya se hablaba de sostenibilidad, en dicho año la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo en “Nuestro Futuro Común: Informe Brundtland” definió sostenibilidad como *“la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”* (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1987).

La comisión concluye que:

1. Sobre los recursos naturales es importante distribuirlos, con el fin de no acabarlos ni limitarlos.
2. Es importante proteger las especies que habitan el planeta, muchas de ellas en peligro extinción.
3. La energía obtenida de recursos no renovables (petróleo por ej.) no es sostenible, por lo tanto, es importante crear una estructura energética basada en fuentes renovables.
4. Es importante descentralizar fondos, poder político y de personal, con el fin de mejorar el manejo administrativo de las ciudades, ya que en la medida en que crezcan

será imposible para sus gobernantes suplir las necesidades de los habitantes, sin un adecuado manejo administrativo y sectores más pequeños para administrar.

Por lo anterior el manejo de los recursos en la industria impacta directamente a la sostenibilidad. Es decir, consumir inteligentemente los recursos y minimizar el impacto realizado, mitigando el daño causado por la actividad ejecutada. Otra opción es encontrándole un segundo uso a los productos cuando estos ya son desechos.

En el caso de Latinoamérica, incluso se trata de mejorar la calidad de la vivienda de estratos bajos para que ésta sea sostenible y mejore la calidad de vida y el entorno de sus habitantes. Mientras que en las viviendas de estratos altos se trata de eficiencia y consumo sostenible, ya que muchos de los materiales son importados, no poniendo atención a los costos ni al transporte extra de materiales que genera más consumo de combustibles y más contaminación (huella de carbono). Por consiguiente, para hacer el ambiente confortable se acude a calefacción y aire acondicionado incrementando el problema del aumento en la temperatura en las ciudades y esto repercute en el calentamiento global. Para este caso se pueden utilizar opciones más eficientes y más sostenibles como paredes y techos verdes.

La arquitectura sostenible puede encajar dentro del desarrollo sostenible ya que como se ha mencionado anteriormente es importante que esta tenga en cuenta la relación del proyecto con el lugar en el cual va a ser desarrollado, los sistemas constructivos eficientes y sostenibles, la escogencia de los materiales según su huella de carbono, eficiencia energética y envejecimiento.

La sostenibilidad como única solución para ser viable la existencia de la humanidad en condiciones dignas, cada vez toma más fuerza tanto en el campo de la arquitectura y la ingeniería, como en los diferentes escenarios nacionales e internacionales.

Pero esta definición plantea problemas ya que no define cuales son las necesidades del presente ni la de las futuras generaciones, como tampoco delimita que recursos y de qué manera podrán consumirse. La definición del Ministerio del Medio Ambiente de Alemania postula tres reglas de gestión para un desarrollo sostenible que pueden complementar la definición de las Naciones Unidas. “Regeneración: solo pueden utilizarse los recursos naturales renovables al largo plazo dentro del marco de su capacidad de regeneración. Sustitución: solo pueden utilizarse los recursos naturales no renovables cuando su uso no pueda ser sustituido por otros materiales o fuentes de energía. Capacidad de Adaptación: a la larga, la liberación de sustancias o energías no deberá superar la capacidad de adaptación de los ecosistemas” (A. Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, 2015c).

La Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo plantea las siguientes estrategias para adquirir hábitos de construcción sostenible (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1987):

1. Consumir inteligentemente los recursos: no se trata de reducir la calidad o las especificaciones de los materiales poniendo en riesgo la calidad de la obra. Es diferente al ahorro de materiales que se hace en las viviendas tipo VIP o VIS, en estas la mala calidad de los materiales y del diseño arquitectónico va en detrimento de la calidad de vida de sus habitantes y no es sostenible. Esta estrategia se concentra en reducir el consumo energético para la producción de materiales, reducir la huella de

carbono al preferir materiales locales, reciclar materiales, evitar el desperdicio y en general eliminar las prácticas de consumo irracional.

2. Eficiencia energética: las edificaciones se construyen para durar entre 30 y 100 años, las edificaciones actuales se están haciendo pensando en el costo de la energía actual, pero a futuro en la medida en que se agoten los combustibles fósiles, sus calderas y sistemas de calefacción serán extremadamente costosos. Por lo tanto el diseño y la construcción deben permitir flexibilidad a la edificación, disminuyendo su consumo energético y permitiendo que ha futuro sean compatibles con fuentes de energía alternativa como solar y eólica.
3. Mitigar la contaminación y sus efectos tóxicos: se deben preferir los materiales menos contaminantes y menos dañinos al medio ambiente, teniendo en cuenta su producción y su reciclaje o su destrucción al final de su vida útil. Esto obligara a la industria a mejorar sus procesos productivos y a comprometerse con la disposición final de sus materiales. También se deben evitar materiales tóxicos como plomo y asbesto.
4. Diseñar y construir sosteniblemente es “hacer las cosas bien desde el principio”: la sostenibilidad es una práctica que ha acompañado a la arquitectura y a la construcción desde sus inicios. Los seres humanos se refugiaban en sus cavernas o construían con materiales como el adobe que son amigables con el medio ambiente. El propósito es que la edificación, desde su diseño, sea concebida con principios de sostenibilidad para no tener que incurrir en reparaciones para arreglar una construcción “enferma”. Así mismo, debe repensarse el concepto de expansión de las ciudades para que estas puedan proveer el ambiente ideal para mejorar la calidad de vida de sus habitantes, adoptando políticas de gran alcance en construcción sostenible.

5.1.6. Soluciones desde la arquitectura y la construcción sostenible

Desde la construcción sostenible se plantean algunas de las siguientes estrategias:

1. Implementar las cuatro erres: reducir, reutilizar, reciclar y rehabilitar. El ritmo de crecimiento de la población mundial y su ritmo de consumo, hacen que los recursos no sean suficientes y el daño al medio ambiente sea mayor que la capacidad de recuperación del planeta. Por ejemplo para el mes de agosto del 2014 la humanidad ya había consumido todos los recursos que tenía disponibles para consumir durante este año (2014), generando un consumo adicional al presupuestado para los siguientes 4 meses del 2014 (World Wildlife Fund for Nature, 2014), este comportamiento de la humanidad es claramente insostenible en el largo plazo.
2. Recuperación de aguas lluvia y aguas residuales: el agua es un recurso vital para la supervivencia del hombre en la tierra. Si las edificaciones captaran el agua lluvia para satisfacer las necesidades que no requieren de agua potable, la presión sobre este recurso natural se disminuiría y se ayudaría a las ciudades a disminuir sus riesgos de inundaciones ya que el agua lluvia iría a sistemas de recolección de los edificios. La tecnología en la construcción ha ayudado a la preservación de los recursos hídricos con grifos ahorradores de agua, inodoros de doble descarga, urinarios sin agua, electrodomésticos de bajo consumo de agua, recuperación de aguas residuales y pluviales, pavimentos permeables para alimentar los acuíferos, paisajismo que permite la filtración de agua, entre otros.
3. Capa vegetal: uno de los daños causados por la construcción es la remoción de la capa vegetal que se retira para poder construir y muchas veces esta tierra apta para el sembrado termina con los escombros en botaderos. Es importante tener la precaución de retirar esta capa útil y guardarla para la construcción de jardines, sembrado de árboles y arbustos.

La remoción de esta capa vegetal y su reemplazo por hormigón y edificaciones, contribuye al calentamiento de nuestro planeta al generar fenómenos como las islas de calor.

5.1.7. Cubiertas Vegetadas

“En la actualidad, se denomina azotea verde a aquel bien inmueble o construcción (tejado, azotea, cubierta o terraza), pública o privada, cuya superficie se recubre con vegetación y especies naturales tales como plantas, árboles y matas. Por otra parte, un muro verde es aquel que a través de la tecnología permite el crecimiento de las plantas seleccionadas de forma perpendicular” (Solano Cabello, 2015).

Patrick Blanc, biólogo y artista Francés, padre de esta tendencia moderna, crea las primeras paredes verdes, imitando los famosos jardines colgantes de Babilonia (Una de las 7 maravillas del mundo antiguo). Transforma ambientes de concreto y ladrillo en refugios de biodiversidad, sus muros ajardinados o verticales son grandes ejemplos de utilización de plantas en la arquitectura moderna. Sus sistemas se componen de aislamiento en diferentes capas y son hidropónicos, permitiendo la reutilización de agua para evitar el desperdicio (Blanc, 2012b).

Las paredes verdes pueden contribuir a la adaptación del cambio climático y pueden reducir el efecto de “isla de calor” en las ciudades. El conocimiento y la experiencia acumulada hasta hoy pueden impulsar futuras investigaciones para mejorar las prácticas actuales. Las paredes verdes pueden contar con numerosas variaciones debido a diversos factores, por ejemplo

pueden ser de interior o de exterior, puede tener limitantes estructurales en una edificación debido a su peso, la superficie en la que se va a instalar el sistema, la dimensión del mismo, la geometría deseada, la ubicación y el ambiente. Todos estos elementos determinan el hábitat vertical de esta cubierta vegetada para poder seleccionar el tipo de vegetación requerida. Una vez decidido el tipo de jardín vertical que se desea desarrollar y haber contemplado todos estos elementos se selecciona el tipo de pared verde a desarrollar, sistema hidropónico (sin sustrato) o con sustrato. Si el sistema es con sustrato se debe escoger el tipo de sustrato acorde a las plantas seleccionadas, el contenedor en el cual se van a sembrar las plantas y la cantidad de agua-nutriente requerido por la vegetación. Esto le dará al desarrollador de jardines verticales elementos para determinar, planear y optimizar el tipo de pared verde deseado contra el requerido, según sean las limitaciones y beneficios del sitio (Jim, 2015).

Las paredes verdes ayudan a disminuir la temperatura al estar compuestas por vegetación, adicionalmente la energía que reflejan de vuelta a la atmósfera (coeficiente de reflexión) es menor, frente a la energía reflejada por una superficie de concreto (Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, 2015). A su vez las paredes o los techos verdes son mejores aislantes que el concreto, el ladrillo o bloque, razón por la cual la temperatura interna de los edificios es más confortable cuando está cubierto por vegetación. A gran escala, la suma de edificios a menores temperaturas mejora el microclima de la ciudad (Muñoz & Torres, 2013), ayudando a disminuir las “islas de calor” en las que se convierten estos edificios.

Los techos y paredes verdes son zonas de reforestación que usan espacios de manera innovadora, se pretende no dejar las azoteas como territorios grises inutilizados, sino darles así un propósito ecológico, paisajístico y permitiéndoles funcionar como cubiertas y a la vez como modernas zonas verdes en las ciudades del siglo XXI.

Debido a la expansión acelerada de las ciudades se calcula que los edificios comerciales y residenciales consumen el 38.7% de los recursos físicos disponibles en el mundo. La actividad edificadora aún después de terminada continúa emitiendo gases y consumiendo grandes cantidades de energía y recursos naturales como agua (Allouhi et al., 2015). En consecuencia, no son sostenibles en el largo plazo y se deben desarrollar programas para reducir el consumo de los recursos generado por los edificios.

Según un estudio realizado por el Harvard T.H. Chan School of Public Health (Spengler, Yamaguchi, MacNaughton, Vallarino, & Santanam, 2015) se encontró el impacto de la ventilación, los productos químicos, los compuestos orgánicos volátiles (VOCs por su sigla en inglés) y el CO₂, es decir la calidad ambiental interior en un inmueble en la función cognitiva de sus ocupantes. Dado que hoy en día pasamos el 90% del tiempo en espacios interiores (oficinas, casas, apartamentos), y se intuye que la calidad del ambiente interior es de vital importancia para la salud y la productividad. Esto también se ha demostrado en estudios que relacionan enfermedades con las edificaciones, es decir el “síndrome del edificio enfermo”. Este estudio pionero del Harvard T.H. Chan School se presenta evidencia científica de que los inmuebles “verdes” tienen relación con el logro de mejores puntajes en pruebas sobre funciones cognitivas en comparación con inmuebles que tengan los niveles típicos de CO₂, químicos y de VOCs, en respuesta de la persona a una crisis, mejor uso de la información y desarrollo de estrategias. Por lo tanto, los resultados encontrados infieren que incluso mínimas mejoras en la calidad ambiental interior puede generar un profundo impacto en el rendimiento de toma de decisiones de las personas.

Existen diversos sistemas basados en la instalación de paneles, otros que utilizan geomallas o incluso los que utilizan materas superpuestas. Las cubiertas verdes son una opción para

reemplazar parte de la capa vegetal que se ha retirado en el proceso de construcción, de esta manera se contribuye con la sostenibilidad del planeta.

Es importante que antes de implementar techos y paredes verdes se estudien las condiciones climáticas, la vegetación autóctona y la ubicación del proyecto, ya que en caso contrario se termina por plantar vegetación de otros lugares que requiere grandes cantidades de agua para su mantenimiento, lo que la hace poco sostenible.

También es importante diseñar adecuadamente las cubiertas y las paredes verdes, deben evitarse las filtraciones, los riesgos estructurales y por último debe permitirse que los habitantes de la edificación disfruten de estas cubiertas verdes, ya que la sostenibilidad también contempla los factores sociales y de calidad de vida.

Las cubiertas verdes tienen gran capacidad para regular la temperatura dentro de la edificación, en el verano o en horas de gran radiación solar evita que esta llegue al interior de la edificación; y en el invierno retiene el calor dentro de la edificación manteniendo temperaturas de mayor confort (Herrera, 2015).

Un edificio de 4 plantas, 60m² (techo), con una fachada protegida por este sistema vegetado, filtra al año 40 toneladas de gases nocivos y captura y procesa 15 Kg/año de metales pesados. Adicionalmente los techos verdes presentan también las siguientes características o beneficios ambientales (Constudata, 2013):

- Capturan un 42% de aguas lluvias.
- Reducen hasta en 8 decibeles el ruido.

- Atrapan 0,2 Kg. de PM10 (partículas contaminantes) anualmente / m².
- Reducen el CO₂ del aire y libera oxígeno.
- Disminuyen de 45 a 19 °C la temperatura sobre el concreto.
- Extienden la vida útil de una cubierta de concreto impermeabilizada de 5 a 40 años.

5.2.Estado del arte

En el mundo el conocimiento sobre techos y paredes verdes lleva más de cinco décadas, pero en Colombia ha sido una tecnología desarrollada en los últimos años, y no ha alcanzado los niveles de planeación y expansión de otros países. Adicionalmente el conocimiento existente reposa en empresas privadas y solo se puede acceder a él mediante la contratación de estas compañías, dejando por fuera el acceso de esta tecnología a constructoras pequeñas y medianas y al público en general evitando así que se masifique esta buena práctica ambiental.

En Alemania los techos y paredes verdes se empezaron a desarrollar desde la década de 1960 y su guía más completa se publica en 1990. Actualmente la IGRA (International Green Roof Association) cuenta con su guía técnica “Green Roofs – Bringing Nature Back to Town”, en la cual cuentan con la participación de 33 expertos mundiales en el tema (International Green Roof Association, 2009).

Las cubiertas vegetadas tienen una historia que puede remitirse hasta 1929 en la tienda por departamentos Karstadt en Hermannplatz en Berlín. El arquitecto Philipp Schaefer (1885-1952) construyó una cubierta verde de 4000 metros cuadrados, cubriéndola con flores y

diferentes tipos de pastos, para usarla para un área para café y eventos musicales (International Green Roof Association, 2009).

Hacia el final de la década de 1920 la calidad del concreto reforzado y del asfalto permitió la construcción de techos verdes más a menudo. Así mismo se empezó a usar una capa de piedras para drenaje que posteriormente se cubría con tierra y plantas. Básicamente esta metodología fue usada hasta 1970. La transición a técnicas modernas ocurre en 1976 en Alemania con un libro revolucionaria llamado “Modern Flat Roof Techniques – From Flat Roof to Roof Garden” (1976), en el que se menciona el uso de concreto reforzado con acero, coberturas de metal, materiales aislantes y resistentes al agua hechos de plástico y caucho, lo que permitió ampliar la cantidad de vegetación y los tipos de plantas que se podían usar (International Green Roof Association, 2009).

En la década de 1980, promovido por el movimiento ecológico que comenzaba en Alemania, se empezaron a usar los techos cubiertos de pasto, pero las técnicas no eran muy buenas y dejaban mucho que desear, y hacia 1989, a través de la asociación alemana de jardineros de techo, se empezó a hablar de tener incentivos y regulaciones técnicas que mejoraran los estándares y fueran punto de referencia (Dunnett & Kingsbury, 2008).

Actualmente, a pesar de los grandes avances en ingeniería, los sistemas siguen usando técnicas de 1980 y 1990, tales como rieles que soportan la estructura, soportes para evitar penetrar paredes y techos, y la innovación es aun necesaria para que los ejecutores de los proyectos puedan seguir generando paisajes novedosos y de avanzada (Tong, 2013). La Asociación Internacional de Cubiertas Vegetas (IGRA) sigue recomendando la importancia

de seguir estudiando la vegetación que se va a usar y el entendimiento básico de cálculos estructurales (International Green Roof Association, 2009).

A través del estudio de diferentes casos alrededor del mundo hay que resaltar que es importante la consulta de biólogos y botánicos para que provean información que de valor agregado a las cubiertas vegetales para indicar el mejor tipo de plantas según las condiciones de cada región, según la resistencia deseada y según las especies animales que habitan en cada zona, para permitir la viabilidad de la vegetación y generar un mayor impacto ambiental positivo (De Garrido, 2011c)

En Colombia, hay ausencia de investigaciones previas que estén disponibles al público, sobre la implementación de paredes o muros verdes que involucren un análisis completo, donde no solo sea expuesta la técnica sino también su análisis financiero y social.

6. METODOLOGÍA

Para conocer los beneficios del sistema de paredes verdes o jardines verticales mediante la reutilización de llantas recicladas, se procederá a realizar una comparación de este sistema con otros tres (3) diferentes que existan actualmente en el mercado. Para ello será necesario que cumplan dos de esos tres con los siguientes requisitos: estar vinculados al Concejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), ser miembros de la Red Colombiana de Infraestructura Vegetada (Recive) y que tengan experiencia comprobada. Todo lo anterior se deberá exponer en la descripción de las empresas seleccionadas, cada una con un sistema patentado, estas empresas son las siguientes: Groncol, Arquitectura más Verde (A+V) y Babylon - Jardines Verticales –Manteltex (Homecenter), el cual vende sus productos en grandes superficies como Homecenter.

6.1. Sistemas Seleccionados

A continuación se describen las características individuales de cada sistema para poder realizar la comparación entre estos. Esta descripción se hace por metro cuadrado que es lo mínimo que se puede comprar en los sistemas de Groncol y de Arquitectura más Verde. Sin embargo para efectos del experimento solo se trabajará con medio módulo de cada sistema, es decir aproximadamente medio metro cuadrado (0.5 m^2). La escala usada para este trabajo se planteó en términos de tamaño (sistema métrico - m^2) de una pared vegetada. A futuro no se sabe el tamaño que esta pared pueda presentar ya que está sujeta al diseño arquitectónico y paisajístico de cada proyecto. Cabe aclarar que el tamaño propuesto para la investigación de este trabajo se debió al área disponible con la que se contaba en la pared seleccionada, para

poder realizar la comparación entre los cuatro diferentes sistemas y dar suficiente espacio a cada sistema de materas y a cada planta para crecer.

El sistema de variables surge del compendio de los autores y expertos mundialmente reconocidos que se estudiaron para dar rigor teórico al presente documento, es importante resaltar que los expertos estudiados no dan mayor relevancia a ninguna variable, las consideran igualmente importantes y como factores a considerar en cada desarrollo paisajístico y arquitectónico, en consecuencia el presente trabajo se acoge a las consideraciones de los expertos estudiados y da igual importancia a cada variable. Por lo tanto no se crea una escala de ponderación para los indicadores, ya que esto puede llevar a olvidar algún indicador o ignorarlos. Es mediante el estudio de todas las variables y los resultados obtenidos que se puede tener la mejor consideración de factores que afectan la viabilidad del sistema y es riesgoso dar mayor relevancia a cualquiera de ellos, porque crea una escala de valor que en la práctica pondría en riesgo el proyecto.

Los sistemas seleccionados son los siguientes:

6.1.1. Groncol

Groncol es una empresa que cuenta con más de 5 años de experiencia en el medio y ha desarrollado hasta el momento 200 proyectos, alcanzando así más de 100.000 m² construidos entre muros y techos verdes que benefician el aire de la ciudad. Gracias a esto Groncol ha logrado procesar más de 400 toneladas de basura, ha logrado retener más de 2.000.000 de litros de agua, se han creado espacios verdes para más de 6.000 personas y han logrado compensar la contaminación de más de 3.000 carros (GRONCOL, 2015).

Actualmente forma parte de Endeavor Entrepreneur, del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible y de la Red Colombiana de Infraestructura Vegetada. Endeavor es

una organización que brinda un reconocimiento a las empresas que logran un alto nivel de impacto a la sociedad (GRONCOL, 2015). El CCCS es una red de personas, empresas y entidades que promueve la transformación de la industria de la construcción para lograr un entorno responsable con el medio ambiente y el bienestar de los colombianos, a su vez el CCCS es miembro del Consejo Mundial de Construcción Sostenible (WGBC, por sus siglas en inglés) (CCCS, 2015). Recive es una red de profesionales con el objetivo común de promover el desarrollo de la infraestructura verde en Colombia, este a su vez es aliado de la Red Mundial de Infraestructura Verde o WGIN, por sus siglas en inglés (Recive, 2015).

Analizando el sistema de Groncol por metro cuadrado consta de dos parrillas metálicas de 79 cm de alto por 26 cm de ancho más una pestaña a lado y lado en la parte superior donde van ubicados los chazos para ser anclado, en esta parte el ancho de la parrilla llega a medir 43 cm. Estas parrillas son las que se anclan a la pared y sobre estas se les cuelgan 6 materas a cada parrilla, es decir 12 en total por metro cuadrado (m^2). Las materas tienen unas pestañas en la parte posterior que sirven para anclarse a la estructura metálica. Las dimensiones de cada matera son: ancho de 44 cm en la parte frontal y de 29 cm en la parte trasera, esto debido a su forma trapezoidal; cuenta con un fondo de 17.5 cm y de altura tiene 16 cm. Una vez instalado el sistema se procede a la siembra de 3 plantas por matera con su respectivo sustrato.



Figura 6.1. Sistema Groncol, Foto: Autor

6.1.2. Arquitectura más Verde (A+V)

Arquitectura más Verde ha desarrollado a la fecha estudios y diseños bioclimáticos por más de 300.000 m² en proyectos urbanísticos y arquitectónicos, colaborando así con la reducción del consumo energético y las emisiones de CO₂. Al igual que Groncol, Arquitectura más Verde es miembro activo de Recive y del CCCS (Arquitectura Más Verde Ltda., 2015b).

El sistema de Arquitectura más Verde consta por metro cuadrado de dos estructuras metálicas cada una de 102 cm por 28 cm en forma de reja, las cuales se pegan con chazos a la pared y soportan doce materas, seis por cada una de las estructuras. Cada una de estas materas cuenta con unas pestañas requeridas para colgarse de la estructura metálica. Cada matera tiene de ancho 48 cm, de fondo 14 cm y de alto en la parte posterior llega a los 18.5 cm y en la frontal de 10.5 cm. Una vez se encuentra instalado el sistema se le adiciona el sustrato y las 3 plantas por matera (Arquitectura Más Verde Ltda., 2015a).

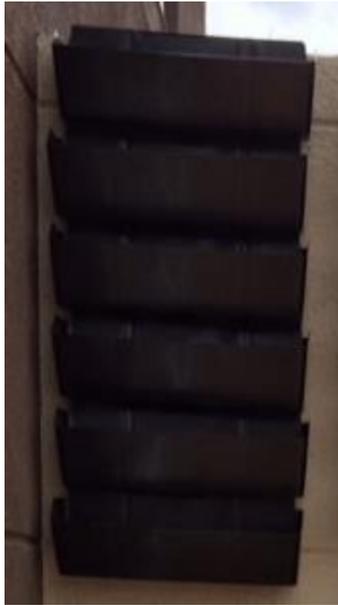


Figura 6.2. Sistema Arquitectura más Verde (A+V), Foto: Autor

6.1.3. Babylon Jardines Verticales - Homecenter

El tercer sistema es uno que se consigue en Homecenter Colombia de marca “babylon Jardines Verticales” es un producto colombiano fabricado por la empresa Manteltex – Líderes en Soluciones textiles que usando su conocimiento textil lo utilizó para sacar al mercado paños para sembrar jardines verticales. Esta empresa no cuenta con ningún respaldo de ninguna asociación, simplemente aprovecharon su conocimiento para ampliar su gama de productos en el mercado (Manteltex, 2015).

El sistema de Homecenter se consigue por paños de 9 bolsillos (3x3) cada uno y un metro cuadrado se compone de 4 paños. Cada paño tiene de ancho 54 cm por 60 cm de altura y tiene 6 perforaciones en sus bordes requeridas para instalar los chazos que lo soportan contra la pared. A su vez las dimensiones de cada bolsillo donde se siembra la planta tienen 12 cm de ancho, 12 cm de alto y 11cm de fondo. Para este caso una matera de los otros sistemas

equivale a una línea de tres bolsillos en el paño, donde en cada uno de estos bolsillos se siembra una planta, sin embargo el espacio es muy reducido y la cantidad de sustrato es inferior en comparación con la cantidad agregada en los demás sistemas.



Figura 6.3. Sistema Babylon Jardines Verticales (Homecenter), Foto: Autor

6.1.4. Llantita Reciclada (Llantera)

La siguiente es una descripción técnica para la creación de un modelo a escala de paredes verdes, que facilite el uso de llantas recicladas como materia. Al estudiar diferentes autores de renombre mundial y al hacer un trabajo de esencia práctica, se sustentó de manera teórica la descripción técnica del proceso y cada una de sus etapas para obtener la llantera, crear la pared verde y mantenerla con vida.

Finalmente, el sistema objeto de este trabajo, el sistema de llanta reciclada, consta de dos líneas, cada una con 5 materas para un total de 10 materas en 1 m². Cada materia hecha con llanta reciclada se soporta con un chazo expansivo para que soporte, esto debido a que se

instalan en un muro en bloque y pañete (se deben revisar las condiciones del muro para saber qué tipo de chazo utilizar). A diferencia de los demás sistemas al ser este por el momento un proceso artesanal no se tiene una única medida con las dimensiones de la matera, sin embargo tienen un promedio de 38 cm de ancho, 15 cm de alto y 20 cm de fondo (varía según tipo de llanta, se deben seleccionar llantas similares). Una vez instalado se procede a sembrar las plantas y se le adiciona el sustrato. Se deben sembrar 3 plantas por matera, sin embargo con los helechos debido a su amplia envergadura, se pueden llegar a sembrar solo dos para que las raíces cuenten con el espacio requerido para su óptimo desarrollo.



Figura 6.4. Sistema Llanta Reciclada (Llantera), Foto: Autor

Para efectos de este experimento se utilizó medio metro cuadrado de cada uno para poder instalar en una misma pared los cuatro sistemas. De esta manera se garantiza que estén expuestos a las mismas condiciones de luz, viento y agua, y así poder realizar la comparación objeto de este trabajo. En todos los sistemas exceptuando el de Homecenter tienen perforaciones inferiores que permiten el paso de agua por gravedad a la matera inferior, esto facilita el riego de los sistemas.

6.2. Proceso Técnico para la fabricación de “Llantera”

El sistema de jardín vertical propuesto para este trabajo fue elaborado con llantas recicladas. El proceso inició con la recolección de las llantas que se realizó directamente en los montallantas, sin embargo también se pueden conseguir en los centros de acopio o en grandes superficies que cuenten con el servicio de montallantas, esta materia prima no tiene costo alguno porque en estos establecimientos les ocupa espacio que requieren para su trabajo y necesitan salir de ellas, por lo tanto las regalan. Las llantas también se pueden conseguir en las calles, basureros o a través del programa “Rueda Verde” de la ANDI, programa de pos consumo de las llantas (Rueda Verde, 2015). Una vez recolectadas se procedió a la elaboración de la Llantera (llanta + matera), de cada llanta se producen 3 Llanteras con una longitud promedio de 38cm de ancho.



Figura 6.5. Dimensiones llanta reciclada, Foto: Autor

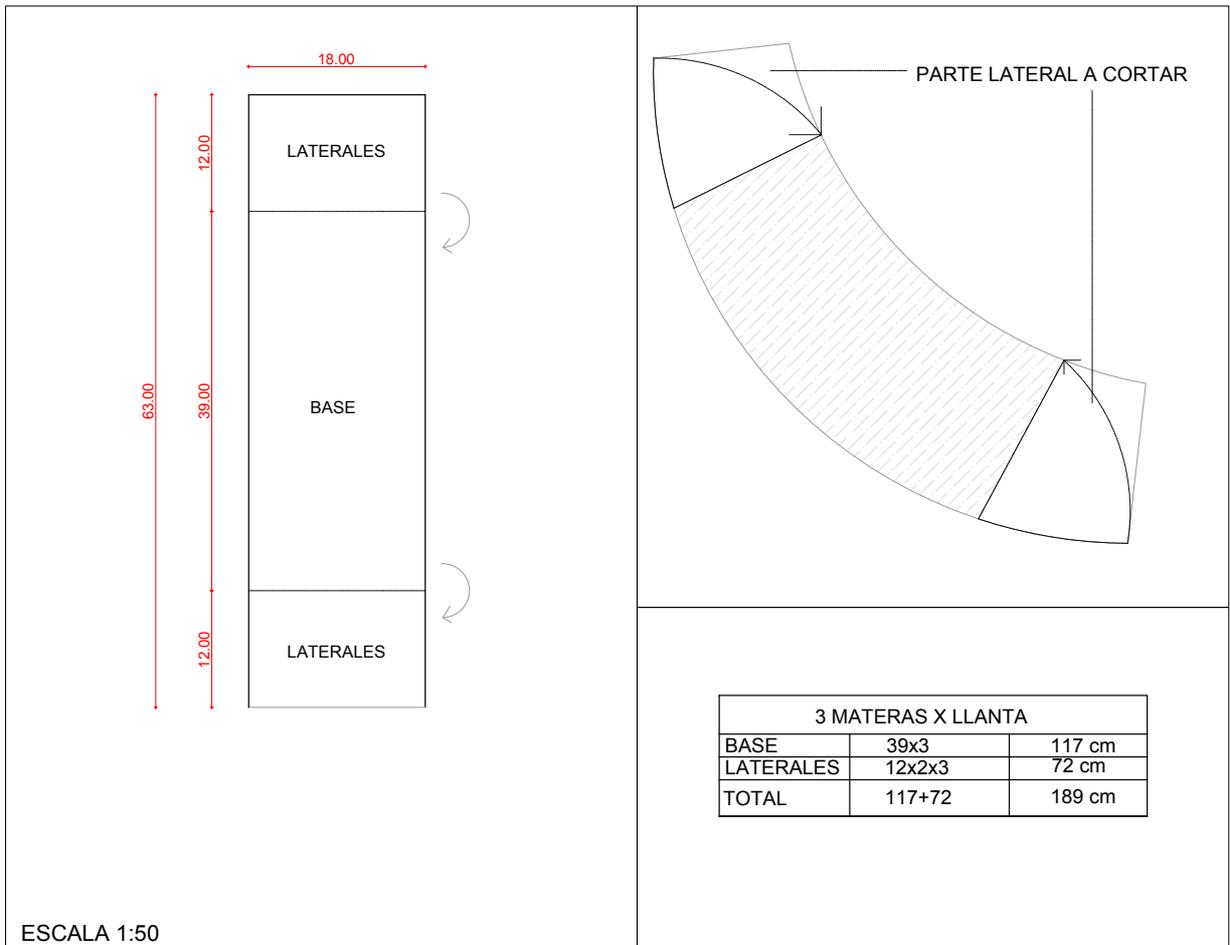


Figura 6.6. Diseño de corte llanta reciclada, Diseño: Autor

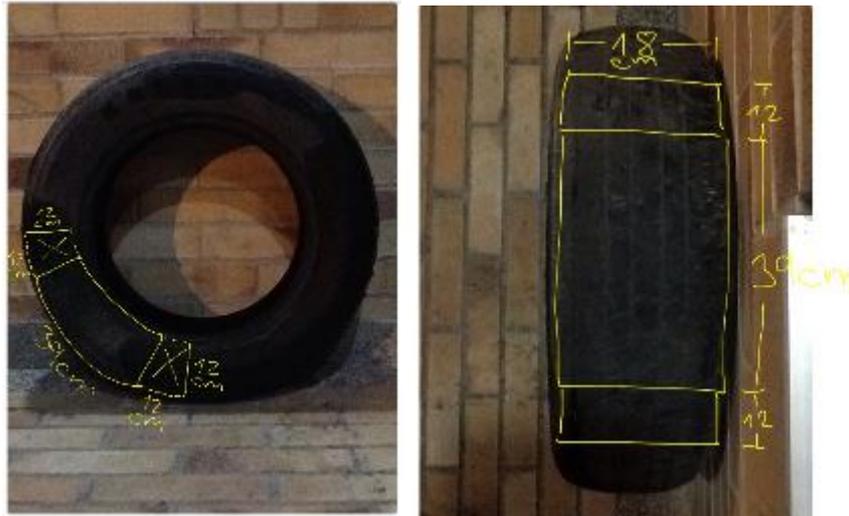


Figura 6.7. Diseño sobre llanta reciclada, Foto: Autor

Para este experimento inicial se cortó la llanta con una pulidora, la selección de esta máquina se debió a que cumplía con la función de cortar que es lo que se pretende realizar, adicional a esto se contaba con la disponibilidad de la pulidora y con la experiencia en su manejo lo que facilitó su uso. Como ya se contaba con la máquina no se tuvo que incurrir en ningún costo adicional de alquiler o compra y fue posible cortarla para elaborar una materia, sin embargo cuando se intentó cortar la llanta para conseguir la segunda materia la pulidora se fundió. Esto debido a que la pulidora se calienta y derrite el caucho y estas partículas se van insertando dentro del motor de la pulidora hasta frenar el motor y fundirlo.

La segunda prueba consistió en combinar la pulidora y una segueta para el corte de la llanta. Esta combinación de máquina y herramienta es debido a la escases de recursos económicos para el experimento, se contaba con la disponibilidad de la herramienta y la facilidad en el manejo de una segueta para el trabajo de corte. Es posible seleccionar otras herramientas y/o máquinas para la óptima elaboración del corte de la llantera, sin embargo esto genera un

sobre costo de adquisición o alquiler de las mismas. La combinación de la pulidora con la segueta solucionó el problema de la fundición del motor de la pulidora, que se presentó en el primer ensayo, siendo esta una posible solución para la elaboración de la Llantera.

Sin embargo, es un proceso manual y por consiguiente demorado, aproximadamente tarda 11 minutos en el proceso de corte de la llanta. Primero se debe empezar a cortar con la pulidora, pero en esta ocasión solo se cortan los bordes que es donde se encuentran la mayor concentración de alambres de acero. Una vez cortados estos bordes se continúa con la segueta hasta dividir la llanta. Este proceso se repite hasta conseguir las tres materas por llanta y sus dos cortes respectivos requeridos para las paredes laterales de cada una de las materas.

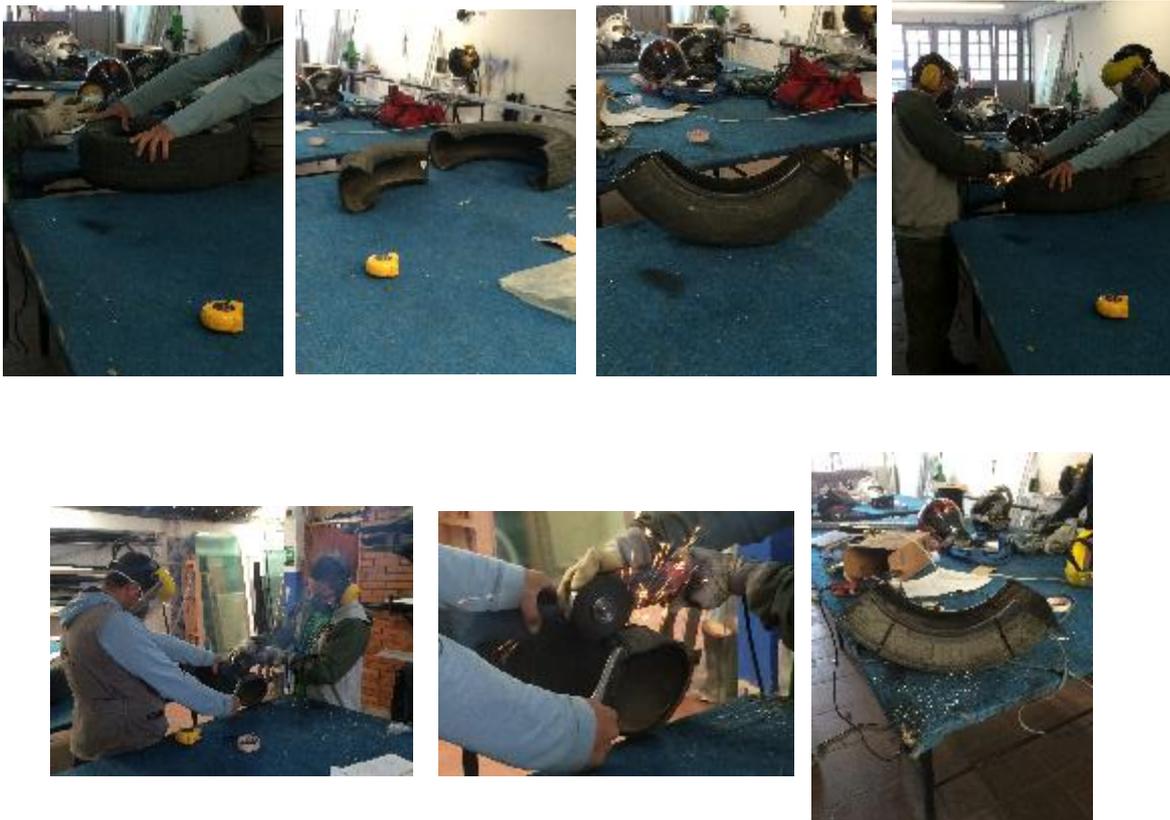


Figura 6.8. Proceso de corte según diseño, Foto: Autor

Una vez finalizado se procede a realizar los agujeros que me permiten unir las paredes de la llanta para cerrarla y convertirla en matera, los elementos utilizados para la unión fueron tornillos de 1/4 de pulgada por una pulgada de un extremo, y del otro una tuerca necesaria para apretar las uniones. Se hicieron los dos orificios en la parte inferior para permitir el paso de agua por gravedad y el lateral donde va ubicado el chazo contra la pared que también se ejecutan en este momento.

Ahora la llanta se encuentra con los cortes realizados y los agujeros requeridos. El chazo utilizado para colgar la llantera en este experimento es un chazo expansivo metálico de $\frac{1}{4}$ x $1\frac{1}{2}$ pulgadas, dado que se realizó en una pared exterior construida con bloque y pañete. Una vez instalada la matera se procedió a adicionarle el sustrato y las plantas a cada una de ellas.



Figura 6.9. Proceso agujeros para unir paredes y para el drenaje del agua, Foto: Autor



Figura 6.10. “Llantera” Producto finalizado, Foto: Autor

6.3.Plantas Seleccionadas

6.3.1. *Nephrolepis exaltata* (Nombre común: Helecho Boston)

El nombre común de la *Nephrolepis exaltata* en Colombia es Helecho Boston, Reina, Espada o Risado. Es una planta típica del sotobosque umbrío y aunque requiere luz, no necesita sol directo. No toleran ambientes secos ni calurosos, para ellos la temperatura ideal esta entre 18°C y 21°C, aunque pueden soportar hasta 3°C. Es importante que tenga buenas condiciones de humedad y que su follaje sea regado mediante pulverización, se debe evitar mojar de manera directa el cogollo porque se puede pudrir. Se recomienda un abono de manera regular en dosis mínimas para evitar que el exceso queme la planta (Infojardin, 2015c).



Figura No 6.11. Helecho Boston (*Nephrolepis exaltata*)

6.3.2. *Vinca major variegata* (Nombre común: Vinca Verde)

Más comúnmente conocida como Vinca Verde, Vinca Mayor o Hierba Doncella. Es una planta resistente a heladas medias y suaves, prefiere los suelos bien drenados y con un pH neutro. No es una planta tóxica y tiene usos medicinales, necesita condiciones de semi-sol y agua moderada. Esta planta florece desde la primavera hasta verano y no es resistente a temperaturas de -3°C . Esta especie necesita un buen grado de humedad en el sustrato evitando que los suelos se sequen (Infojardin, 2015b).



Figura No 6.12. Vinca Verde (*Vinca major variegata*)

6.3.3. *Tradescantia zebrina* (Nombre común: Panameña)

En Colombia se le conoce a este tipo de planta como Panameña, Zebrina Péndula o Pamplinas. Es una planta colgante que durante las épocas de verano puede presentar flores de color rojo, rosado. Se debe proteger de las heladas, ya que por debajo de los -3°C puede morir, es una planta que requiere bastante luz y en el verano debe ser regada con abundante agua para evitar que el aire cálido la dañe (Infojardin, 2015d).



Figura No 6.13. Panameña Morada (*Tradescantia zebrina*)

6.3.4. *Hedera sp.* (Nombre común: Miami)

A la Hedera se le conoce en Colombia como Miami o Hiedra. Es una de las hiedras más grandes con hojas que pueden llegar a medir hasta 25 cm de largo y 15 cm de ancho. Hay tres variedades comunes, la dentata, que tiene pequeños dientes hacia la punta de la hoja; la variegada, que tiene bordes amarillos rodeados de una zona gris y un centro más oscuro; y la variedad sulphur hart que tiene un centro verde amarillo en las hojas. Esta planta disfruta del sol o de la sombra parcial, y aunque prefiere los suelos alcalinos y bien drenados, tiene grandes capacidades de adaptación. Puede usarse para cubrir grandes espacios o como planta trepadora en los muros (Infojardin, 2015a).



Figura No 6.14. Miami (*Hedera*)

6.4. Riego

Para saber qué sistema de riego se debe utilizar, primero se debe conocer el lugar en el cual se va a desarrollar la pared verde y verificar la disponibilidad de agua con la que se cuente.

Existen 4 formas de sistemas de riego (Sela & García, 2015).

1. Sistema de riego manual
2. Sistema de riego automatizado con punto de agua
3. Sistema de riego automatizado sin punto de agua
4. Sistema de riego mixto (manual + automatizado)

El sistema de riego manual es el sistema tradicional que desde hace años se maneja en los jardines. Es el más económico debido a que solo se requiere una regadera o si se desea más modernizado entonces con una manguera, sin embargo es el más riesgoso de todos ya que depende en su totalidad de la mano humana para controlar la cantidad de agua suministrada a las plantas y la frecuencia del riego.

El sistema de riego automatizado con punto de agua es el sistema más moderno ya que incluye un computador que activa el riego. Este se instala directamente del punto de agua (la llave) y se le programa la cantidad de agua, la frecuencia de riego, el tiempo de duración del riego y los días en que se debe realizar esta rutina. Adicionalmente con unos accesorios a este computador se puede mejorar aún más el sistema de riego automatizado ya que puede detectar el nivel de humedad de las plantas para que se active el computador automáticamente cada vez que las plantas lo necesiten. Mediante una aplicación, el sistema avisa al celular con 3 meses de anticipación que su pila se va a acabar, y con unos accesorios adicionales puede avisar también si las plantas necesitan sustrato o si una planta se está muriendo. Por todo lo

anterior es claro resaltar que es el sistema más costoso pero más confiable dado que tiene una dependencia mínima de la mano humana (Sela & García, 2015).

El sistema de riego automatizado sin punto de agua es similar al anterior, su diferencia radica en la carencia del punto de agua cerca de donde se va a instalar el jardín vertical. Por tal motivo se debe suplir la disponibilidad de agua obligatoria para el funcionamiento de cualquier sistema de pared verde con un tanque que sirve para recoger el agua que va cayendo del jardín vertical y almacenarla. Una vez almacenada el agua se debe impulsar con una motobomba sumergible a la parte superior de la pared verde para iniciar su recorrido en el sistema de riego. La motobomba puede funcionar con un computador y con los mismos adicionales que se explicaron en el caso inmediatamente anterior. Según Sela y García (2015), este sistema de riego al igual que el anterior es costoso dados los elementos (computador, motobomba, accesorios adicionales y tanque de almacenamiento de agua), sin embargo en términos generales cuenta con la misma confiabilidad del anterior sistema, aunque requiere de la mano humana por lo menos una vez por semana para rellenar el tanque de agua que alimenta el jardín vertical debido al consumo de las plantas y a la evaporación del agua.

Por último, el sistema de riego mixto es aquel que cuenta con un sistema de riego instalado en la pared verde, pero requiere de la mano humana para iniciar el riego, así mismo dependerá de la mano humana para pararlo. El costo no es tan elevado ya que no cuenta con un sistema computarizado, pero tiene una alta dependencia de la intervención humana. Mejora al sistema manual en que la cantidad suministrada de agua es dosificada por goteros, de todas maneras se debe controlar la duración del riego para que sea la indicada.

Para el caso de este experimento se realizó con el sistema manual para evitar el costo que requiere el riego automático. Cabe resaltar que este sistema tiene una alta interacción humana ya que se debe regar tres veces por semana, que para el caso de este experimento se realizó los días lunes, miércoles y viernes en horas de la noche. El riego se realizó utilizando una regadera con capacidad de 3 litros, esto debido a que cada matera debe recibir entre 2 y 3 litros de agua el día del riego. El agua utilizada en este experimento provino de un tanque de agua lluvia para no desperdiciar agua potable innecesariamente y así continuar con el concepto ecológico y amigable con el medio ambiente. Sin embargo, se contempló el uso de agua potable cuando el agua lluvia no fuera suficiente.

La forma en que se riegan los sistemas verticales es de la siguiente manera: la primera línea que se riega es la más alta del sistema para que con los agujeros que tienen los sistemas (a excepción del producto conseguido en Homecenter) y con la ayuda de la gravedad el agua cae a la siguiente matera. De acuerdo a lo expuesto por Sela y García (2015), en los dos primeros metros del jardín vertical debe seguir el patrón de riego 1 sí, 2 no. Esto quiere decir que de forma descendente la primera línea de materas se riega y la segunda y la tercera reciben el agua que cae de la inmediatamente superior. La cuarta línea nuevamente se riega y esta le trasmite el agua a la quinta y sexta línea, este patrón continúa hasta alcanzar la base del sistema. Desde los dos metros en adelante el sistema de riego debe cambiar su patrón y pasa a ser 1 sí, 3 no, es decir que una matera si se riega y las tres siguientes no. Lo anterior es necesario para evitar una saturación de agua en la parte inferior del sistema. Para evitar el desperdicio de agua se instala un tanque en la parte inferior que sirve para recolectar el agua que cae de la base de los sistemas.

6.4.1. Agua lluvia Vs Agua grifo

Conforme al decreto 1575 de 2007 (Ministerio de la Protección Social, 2007) el agua cruda es un agua natural que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento para su potabilización. Por el contrario el agua potable es apta para el consumo humano, que cumple con las características químicas, físicas y microbiológicas para poder ser utilizada en bebida directa, preparación de alimentos o higiene personal. El agua pura es tratada con cloro, flúor y otros químicos que cambian su acidez y que pueden llegar a ser tóxicos en altas concentraciones. Para las plantas el agua tratada además de los químicos a los que no están acostumbradas, carece de minerales que las pueda nutrir. Por lo anterior usualmente el agua tratada no es la mejor opción para regar plantas.

Por otro lado, el agua lluvia es la que proviene de cualquier tipo de precipitación sea lluvia, nieve, neblina, granizo, etc. básicamente de una fuente natural de precipitación. Para la Organización Panamericana de la Salud, el agua de lluvia es pura solo en las áreas rurales donde no hay industrias, ya que los gases emitidos por la industria, al reaccionar con la atmósfera, producen químicos que al precipitarse se denomina como lluvia ácida, que quema los cultivos y no es apta para beber. En zonas densamente pobladas la lluvia también está expuesta a partículas sólidas suspendidas en la atmósfera y que contienen metales pesados contaminantes (Organización Panamericana de la Salud, 2015).

6.5. Sustrato

Existen diferentes tipos de sustratos y los principales que se utilizan son la grava, el guijarro (piedra), piedra pómez, arcilla, arena, arena y grava mixta, agua, lava, perlita, vermiculita, humus, cascarilla de arroz, tierra, aserrín y fibra de coco. Por lo general los componentes

orgánicos proporcionan hasta un 10% de la mezcla y al descomponerse en el tiempo estos se deberán reemplazar (Dunnett & Kingsbury, 2008).

La mezcla de los inorgánicos que no se descomponen es sumamente importante para los jardines verticales ya que ayudan a reducir al mínimo el mantenimiento (Tong, 2013). La mezcla correcta del sustrato dependerá de las necesidades que requieran los tipos de plantas que se vayan a sembrar, como también del clima y la pluviosidad entre otros factores a considerar. Para este proyecto la mezcla seleccionada del sustrato fué de 30% de humus, 10% de cascarilla de arroz y 60% tierra (Vertin, 2015). Estos porcentajes fueron suministrados por el vivero Santa Clara que son los requeridos para los tipos de plantas seleccionadas. En caso de requerir nutrientes líquidos en el agua de riego se puede adicionar humus líquido o triple 15 en los mantenimientos planificados a futuro. En el caso del humus se debe mezclar 100 gotas por cada litro, mientras que con el triple 15 se debe mezclar una cucharadita (5 ml) para la misma cantidad de agua (Verdugo, 2015). En este proyecto no se aplicaron nutrientes adicionales durante el tiempo total del ensayo.

6.6. Ubicación

El lugar donde se realizó el experimento fué en Chía – Cundinamarca, vereda Fonquetá en el Condominio Ventto Reservado – Casa 30. El jardín vertical está ubicado en una pared exterior de 135 cm de ancho por 250 cm de alto y divide dos terrazas, de manera que en caso de presentar humedad en la pared, esta no generó problemas habitacionales. Al estar al exterior es necesario conocer las condiciones climáticas donde van a habitar las plantas. Según el IDEAM, la temperatura en la sabana de Bogotá tiene una máxima media promedio anual entre 16 y 20°C, y una mínima entre 4 y 8°C. La pluviosidad en esta misma zona se

encuentra en promedio entre 500 y 1000 mm, y la humedad relativa media anual en promedio se encuentra entre 80 y 85% (IDEAM, 2015).

Los sistemas se instalaron en promedio en medio metro cuadrado (0.5 m^2) cada uno, para un total de dos metros cuadrados (2 m^2) sumando los diferentes sistemas. Esto con el fin de poder contar con los 4 sistemas en el mismo espacio y así no tener mayores variaciones en las condiciones climáticas. Los sistemas se instalaron y sembraron al mismo tiempo para realizar un seguimiento simultáneo en todas las variables a medir.

6.7. Definición de las variables

Los jardines verticales ayudan entre otras cosas a embellecer las paredes de las construcciones, sin embargo si estas no son hechas por personas o empresas expertas pueden terminar con un muro lleno de plantas muertas, o sea un caso fallido o “Greenwashing”. Por ello es necesario medir ciertas variables para comparar el sistema de las llantas recicladas con los otros tres diferentes sistemas y monitorear su desempeño (De Garrido, 2011c). En la evaluación de estas variables se utilizaron los indicadores descritos a continuación, para determinar la viabilidad del modelo a escala en un sistema de paredes verdes con llantas recicladas, estos indicadores se obtuvieron a partir del compendio de las recomendaciones e investigaciones de expertos a nivel mundial y de reconocida reputación.

Con el fin de determinar los beneficios de la llanta como material para el uso en paredes verdes, se definieron las siguientes variables, a partir de la sumatoria de las investigaciones de diferentes expertos, ya que encontrar un único listado con rigor científico no fue posible y adicionalmente limitaría el panorama desde el cual se construyen las variables. Por lo anterior se estudiaron autores e investigadores teóricos con experiencia práctica y de reconocida

reputación mundial en el medio, para hacer un compendio que como resultado generó un listado de variables que permiten responder a los objetivos del presente trabajo a través de un análisis de diferentes indicadores, considerados por los autores como cruciales al momento de hacer una pared vegetada. Para describir los beneficios de la implementación de las llanteras y del crecimiento de las plantas se analizan las siguientes variables:

Implementación – Peso, Humedad de la pared, Estética, Impacto ambiental, Costo del mantenimiento, Costo del sistema.

Crecimiento Plantas – Cobertura vegetal, Durabilidad vegetal, Mantenimiento de las plantas.

De manera individual se revisó el estado de cada sistema durante un período de doce (12) semanas en donde se midieron las siguientes variables o indicadores:

6.7.1. Peso – Cuantitativo (Dunnett & Kingsbury, 2013a)

El peso es una variable cuantitativa de vital importancia debido a que el sistema va pegado a las paredes del inmueble generando un peso adicional sobre la estructura. La estructura del inmueble debe contemplar el peso adicional de un jardín vertical de gran envergadura porque de lo contrario podría llegar a colapsar por el sobrepeso (Toro, 2015). El peso de cada sistema se determinó con una báscula digital (Bascula marca Balanza, referencia “mini”) y se expresó en kilogramos (kg). Cada uno de los sistemas saturados, es decir ya en funcionamiento con las materas, las plantas, el sustrato y el agua, se pesó por triplicado antes de la instalación de las mismas en la pared. Luego se calculó el promedio del peso total de cada sistema (De Garrido, 2011).

6.7.2. Humedad de la pared - Cuantitativa (Dunnett & Kingsbury, 2013b)

La humedad de la pared donde se instala el sistema es una variable importante dado que si el sistema no trabaja correctamente, puede llegar a ocasionar humedades en el interior de la edificación, generando molestias habitacionales y hasta afectar negativamente la salud de los habitantes. La humedad de la pared donde está instalado cada uno de los 4 sistemas se midió una vez por semana durante 12 semanas. Esta medición se realizó después del el proceso de riego (sección 6.4) para ver si la pared se encontraba húmeda o seca. La escala utilizada para definir la humedad de la pared fué la siguiente (Blanc, 2012c):

TIPO	% HUMEDAD	ESTADO DE PAÑUELO
SECO	0%	PAÑUELO SECO
	25%	1/4 DEL PAÑUELO SE HUMEDECIO
HUMEDO	50%	LA MITAD DEL PAÑUELO SE HUMEDECIO
	75%	3/4 PARTES DEL PAÑUELO SE HUMEDECIERON
MUY HUMEDO	100%	LA TOTALIDAD DEL PAÑUELO SE HUMEDECIO

Tabla 6.1. Diferenciación del tipo de humedad expresada en porcentaje.

Asimilando el ensayo de la lámina de polietileno y el ensayo de la manta (National Ready Mixed Concrete Association, 2013) métodos usados para medir la humedad en la losa de concreto, se derivó en el ensayo del pañuelo, aprovechando los recursos disponibles para el presente trabajo y sustentándose en el soporte científico de los ensayos inicialmente mencionados.

Dado que los jardines verticales están contra la pared, la forma de medir esta variable es poniendo en la parte trasera de cada sistema antes de iniciar el proceso de riego, un pañuelo de papel triple hoja de 21.5 cm x 21.0 cm marca “Familia”. El pañuelo se instaló en los 2 a 10 milímetros (dependiendo del sistema) de espacio que queda entre la pared y cada uno de los sistemas durante el tiempo que transcurre durante el proceso de riego para determinar la humedad que se genera en la pared al finalizar el regado. El porcentaje de humedad de la

pared fué asignado de acuerdo a la preservación y la integridad del pañuelo descrita en la tabla 6.1, es decir que a mayor humedad el pañuelo pierde forma y consistencia semejando lo que pasa a largo plazo con los materiales de construcción expuestos a humedad constante (De Garrido, 2011a).

Como los sistemas se instalaron en un muro divisorio de dos terrazas se observó si la pared posterior a cada uno de los sistemas de pared verde se encontraba afectada por la humedad. Se comprobó que la pared inicialmente se encuentra sin humedad (medición visual).

6.7.3. Estética – Cualitativa (Tong, 2013)

La estética se entiende como la “armonía y apariencia agradable a la vista, que tiene alguien o algo desde el punto de vista de la belleza” (Real Academia Española, 1982). Para este trabajo en particular la belleza se relacionó con una mayor cobertura vegetal de la planta sobre la materia, evitando que el material del que está hecha cada materia se viera y que el jardín vertical tuviera una cobertura completa. La estética es muy importante debido a que si los sistemas no agradan, entonces no se generará una masificación en la utilización de las paredes verdes.

Esta variable se midió de manera visual y arrojó un resultado “alto = 3”, “medio = 2” o “bajo = 1” dependiendo de qué tan estético se vea el sistema. En un nivel de estética alto= 3 las plantas cubrían totalmente la materia y no se observa el material del que está compuesta. En el nivel 2 las plantas cubren parte de la materia pero estéticamente no es el ideal que esta se vea. Finalmente el nivel 1 se presenta cuando la materia es fácilmente visible y esto hace que no se vea bien estéticamente (Dunnett & Kingsbury, 2013a). Esta medición se realizó en 3 etapas: inicial, tan pronto se instaló el sistema y se sembraron las plantas, es decir en la semana 1;

media, después de 6 semanas de haberse iniciado el experimento; y por último en la semana 12 de haberse iniciado el experimento.

6.7.4. Impacto Ambiental – Cuantitativa (De Garrido, 2011b)

En esta variable se revisaron los materiales utilizados para la fabricación de cada uno de los sistemas para ver si provenían de materiales reciclados, en caso tal se calculó el porcentaje aproximado de materiales que contenía y con base en este se le asignó un puntaje de acuerdo a la Tabla 6.2. Adicionalmente se estudió el beneficio que generó reutilizar el material reciclado en el sistema (si aplica) y se le otorgó un valor numérico del 0 al 10 dependiendo del impacto ambiental (Dunnett & Kingsbury, 2013a). Para efectos de este experimento se le dará un valor mínimo de 2 a todos los sistemas dado que todos los sistemas son jardines verticales ya que esto genera un impacto ambiental positivo. La forma en que se le asignó la puntuación a cada uno de los sistemas por material reciclado se muestra en la siguiente tabla:

Beneficio Ambiental	Ptos Asignados
Jardín Vertical	2
Material Reciclado 1% - 24%	2
Material Reciclado 25% - 49%	4
Material Reciclado 50% - 74%	6
Material Reciclado 75% - 100%	8

Tabla 6.2. Porcentaje de beneficio ambiental y su equivalencia en puntos asignados

6.7.5. Cobertura Vegetal – Cuantitativa

En cada sistema se sembraron 4 especies diferentes de plantas autóctonas de la región: helecho boston o reina (*Nephrolepis exaltata*), vinca (*Vinca mayor variegata*), panameña

(*Tradescantia zebrina*) y Miami (*Hedera sp.*). Cada sistema cuenta con 6 materas a excepción de la Llantera que cuenta con 5 dado que las dimensiones de estas materas son de mayor tamaño. Se sembraron 3 plantas de la misma especie por matera y para todos los casos se sembraron las cuatro especies repitiendo la vinca y miami, estas se escogieron simplemente por motivos netamente estéticos para el experimento. En la Llantera la vinca repitió para completar las 5 materas quedando la miami por fuera en este sistema. Para la siembra se seleccionaron plantas que se encontraron en el mismo estado de desarrollo. La cobertura vegetal se determinó por la abundancia vegetal de la planta y por ende con la capacidad que tiene la planta para cubrir la matera (De Garrido, 2011b). Se realizaron mediciones de cobertura vegetal observando la capacidad de la planta de cubrir la matera y se determinó porcentualmente de acuerdo a la tabla 6.3, esto se realizó al inicio y luego cada semana hasta completar 12 semanas de estudio. La cobertura se determinó para cada especie por separado.

COBERTURA VEGETAL	
%	DESCRIPCION
0%	Las plantas no cubren nada de la matera
25%	Las plantas cubren 1/4 de la matera
50%	Las plantas cubren la mitad de la matera
75%	Las plantas cubren 3/4 partes de la matera
100%	Las plantas cubren la totalidad de la matera

Tabla 6.3. Porcentaje de cobertura vegetal con su interpretación

6.7.6. Durabilidad Vegetal – Cuantitativa (De Garrido, 2011b)

La durabilidad vegetal se determinó con el número de plantas que sobrevivieron después de las 12 semanas de evaluación y se expresó la supervivencia de las plantas porcentualmente de acuerdo a la cantidad de plantas muertas que se presentaron. Los factores que influyen sobre

esta variable son: el riego, la temperatura, la luminosidad, el viento Las plantas por lo general cuando están en óptimas condiciones su color es verde, cuando están siendo afectadas por alguno de los factores anteriormente mencionados su color cambia a amarillo y finalmente si la planta no soporta la exposición continua a estos factores cambiará su color a café, color que indica que la planta murió. La falta de clorofila es otra de las causantes del “amarillamiento” de las plantas y las posibles razones son por un drenaje insuficiente, deficiencias nutricionales de la planta (fertilización), y las raíces en malas condiciones o compactadas (Schuster, 2015). La durabilidad se determinó para cada una de las 4 especies de plantas sembradas en cada uno de los sistemas después de 12 semanas de siembra, según la durabilidad vegetal se determinaron las especies aptas para cada uno de los sistemas instalados. Las plantas que se murieron durante el estudio no fueron reemplazadas. Esto ayudó a determinar cuál sistema fué menos apropiado para la durabilidad vegetal. Los porcentajes se determinaron de 0% a 100%, donde 0% significa que todas las plantas resultaron afectadas o muertas y 100% significa que ninguna planta está siendo afectada (color amarillo o café) y se encuentra en óptimas condiciones.

6.7.7. Mantenimiento de las plantas – Cuantitativo (Blanc, 2012a)

El mantenimiento de una planta está compuesto por el riego, la adición de nuevo sustrato, la fertilización y la poda de las plantas en caso de requerirse. Se contempló si era o no necesario realizar el mantenimiento y en caso tal, el tipo de mantenimiento requerido a cada una de las plantas. En caso de requerir mantenimiento se registró el tipo de mantenimiento realizado y la periodicidad de dicho mantenimiento. Esta variable permitió determinar la necesidad de cambiar o no de especie de planta para reducir o eliminar el mantenimiento del sistema para futuros trabajos.

6.7.8. Costo Mantenimiento – Cuantitativo

El costo del mantenimiento se determinó basado en labores de mantenimiento del punto anterior. Si el riego se realiza con agua reciclada el costo será \$0. Si se requiere abonar o fertilizar el sustrato, también existen componentes orgánicos que resultan gratuitos por lo tanto no generan costo, sin embargo si se desea utilizar productos químicos estos sí generarán costo de mantenimiento. Para este trabajo experimental de 12 semanas no fue necesario abonar ni fertilizar y el agua fue reciclada de la lluvia (Dunnett & Kingsbury, 2013a).

6.7.9. Costo Sistema – Cuantitativo (De Garrido, 2011c)

El costo del sistema es un factor de vital importancia para el experimento, dado que de esto depende la masificación del sistema para habilitar su uso en todos los estratos. Esta variable se calculó sumando todos los costos asociados para la producción y de la infraestructura requerida para la elaboración de la Llantera y con base en esto tener el valor por metro cuadrado (m^2) proyectado para su venta. Una vez se cuenta con este valor de la llantera se compara con el de los otros sistemas. Entre más elevado su costo, menor la posibilidad de propagación del sistema de jardines verticales.

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se comparó un sistema de pared vertical implementado a partir de llanta reciclada con 3 sistemas comerciales (Groncol, Arquitectura más Verde, Homecenter) durante un período de 12 semanas. Se midieron las diferentes variables (peso, humedad de la pared, estética, impacto ambiental, cobertura vegetal, durabilidad vegetal, mantenimiento plantas, costo mantenimiento, costo del sistema, viabilidad del sistema) una vez por semana. Según el desempeño de estas variables, todas por igual, se determinó la viabilidad del sistema. Todas fueron igual de importantes para determinar si el sistema era viable o no. Se realizó un seguimiento fotográfico para evidenciar los cambios de cada uno de los sistemas en el tiempo.

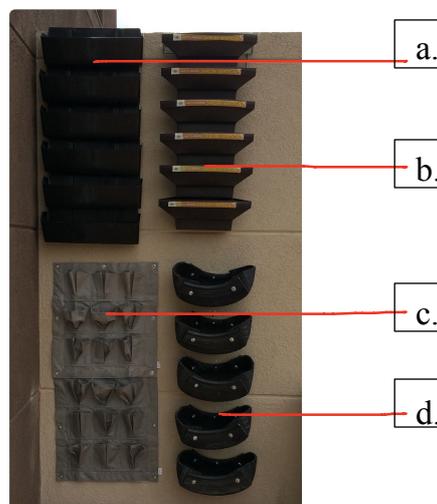


Figura 7.1. Sistema vertical de llanta reciclada vs sistemas comerciales – Instalación
(**a.** Arquitectura más Verde, **b.** Groncol, **c.** Homecenter, **d.** Llanta Reciclada (Llantera)



a. Semana 1



b. Semana 2



c. Semana 3



d. Semana 4



e. Semana 5



f. Semana 6



g. Semana 7



h. Semana 8



i. Semana 9



j. Semana 10



k. Semana 11



l. Semana 12

Figura 7.2. Sistema vertical de llanta reciclada vs sistemas comerciales – En el tiempo, Semana 1 a Semana 12

El listado de variables como se mencionó anteriormente surge de un compendio de los planteamientos de diferentes autores, teniendo en cuenta que no hay variables de mayor relevancia, se analiza la viabilidad y se hacen precisiones en los resultados obtenidos como sugerencias al lector, en caso de desarrollar el sistema de llanteras, tales como considerar un ingeniero estructural para las cargas y pesos de la pared. La evaluación no se hace como una calificación teórica sino como un análisis práctico de viabilidad y ejecución del sistema, se

sustenta en el compendio de autores y es importante que al momento de desarrollar un proyecto se consideren todas las variables en igualdad de relevancia.

Con base en estas imágenes, las variables a las cuales se les realizó el seguimiento fueron las siguientes:

7.1. Peso – Cuantitativo

El peso de cada uno de los sistemas saturados para 1 m² se compone de las materas, las plantas, el sustrato y el agua. A continuación, se muestra el peso total de cada uno de los sistemas mostrando el peso en medio metro cuadrado que es lo instalado por sistema en este experimento. Con base en esta información se multiplica por 2 para saber el peso por metro cuadrado y finalmente se riega para saber el peso neto del sistema saturado.

SISTEMA	0.5 m2 (kg) PROMEDIO	ERROR ESTANDAR	1 m2 (kg) PROMEDIO
GRONCOL	28,70	+/- 0,0328	57,41
A+V	29,65	+/- 0,0115	59,30
HOMECENTER	23,87	+/- 0,0133	47,75
LLANTERA	33,93	+/- 0,0208	67,86

Tabla 7.1. Cuadro comparativo de los pesos registrados para los diferentes sistemas con su error estándar

En la Tabla 7.1. se muestra el peso de cada uno de los sistemas por metro cuadrado y se puede observar que el sistema distribuido por Homecenter es el más liviano de los 4 con un peso promedio de 47.75 kg/m^2 . Groncol y A+V alcanzan un peso por metro cuadrado de 57.41 kg y 59.30 kg respectivamente.

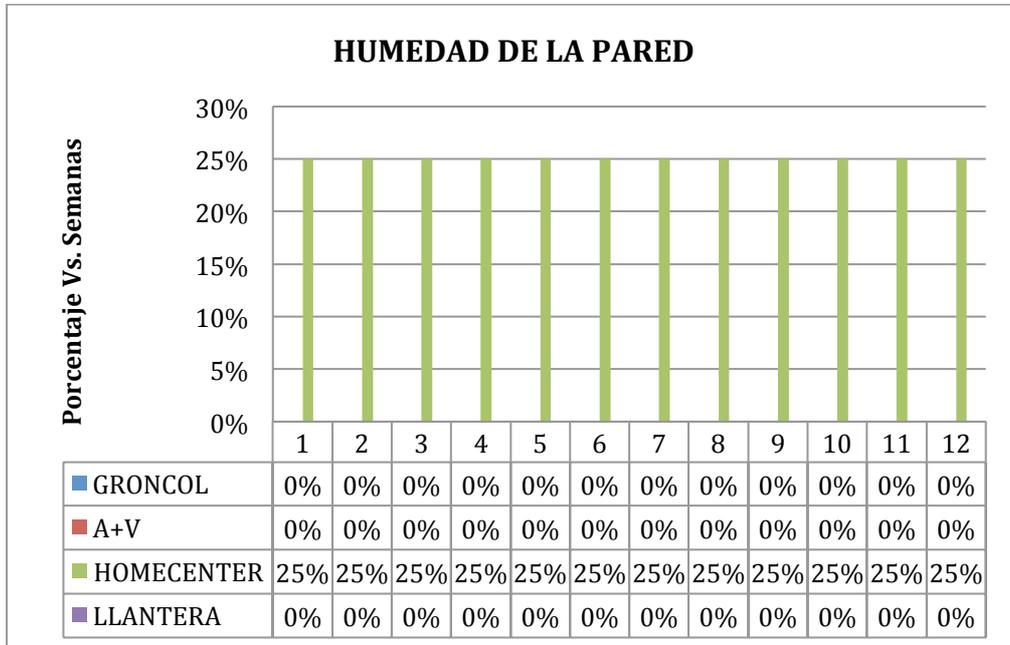
La Llantera es el sistema más pesado (67.86 kg/m^2) de los estudiados en este trabajo, cada materia tiene aproximadamente 1 kilogramo más frente a las materas de Groncol y A+V. Pero debido al área que cubre cada Llantera, por metro cuadrado (m^2) se requieren 10 Llanteras, mientras que para los sistemas de Groncol y A+V se requieren 12 materas.

Para proyectos de paredes verdes a gran escala es necesario consultar un ingeniero estructural para asegurar la estabilidad de la pared y de la edificación para evitar riesgo de afectar la estructura, por esta razón si el proyecto está en etapa de diseño, se debe contemplar el peso adicional que cada sistema le aporta al inmueble para que el ingeniero calculista lo incluya en sus cálculos de pesos de cargas vivas y muertas en sus diseños estructurales. Para este caso se consultó al ingeniero calculista Guillermo Toro, gerente general de la empresa GTA Ingeniería (Toro, 2015). Cualquiera de los sistemas estudiados en este experimento se podría utilizar para proyectos caseros que involucran pequeños espacios de la pared, ya que no hay alteración del balance de la estructura y por lo tanto puede ser usado sin asesoría estructural.

En consecuencia, el peso adicional del sistema de llanteras que aporta cada materia debe considerar las mismas recomendaciones y se debe contemplar el peso adicional aportado a la estructura para proyectos a gran escala, permitiendo que el ingeniero calculista incluya en sus estudios el peso adicional que soportará la pared en la que se realizará la instalación del jardín vertical y su aporte en peso a toda la edificación (Toro, 2015).

7.2.Humedad de la Pared – Cuantitativo

Durante el proceso de análisis de los sistemas de paredes verdes, se realizaron mediciones semanales obteniendo los siguientes resultados:



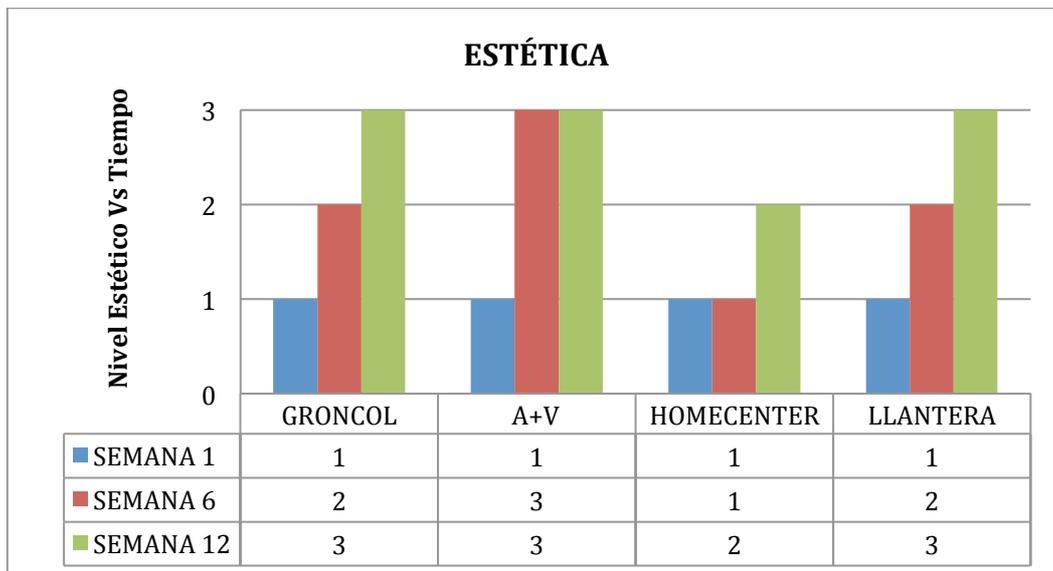
Gráfica No. 7.1. Porcentaje de humedad en las paredes que contenían el sistema de llanta reciclada junto con sistemas comerciales

La humedad presentada por todos los sistemas de paredes verdes es del 0%, excepto para el sistema adquirido en Homecenter que presentó una humedad del 25% a lo largo de las 12 semanas. Muy posiblemente esta humedad se debe a la estructura del sistema, desarrollado en una tela que hace contacto directo con la pared, y que a pesar de su película aislante el contacto constante entre pared, tela y agua permite que la humedad sea transferida a la pared donde está instalado el sistema y a largo plazo se acumula. Por lo anterior fue el sistema que mostró un mayor porcentaje de humedad en la pared.

Se puede observar de la gráfica que el comportamiento de la Llantera tiene un óptimo desempeño para aislar la humedad de la pared y mantenerla seca, lo anterior se debe a que la

llanta mantiene el agua del riego adentro y evita que el agua se salga humedeciendo la pared. En comparación con los otros sistemas la Llantera presentó un comportamiento similar a Groncol y a A+V que también evitaron que la pared se humedeciera. Con respecto al sistema de Homecenter, la Llantera mostró un comportamiento superior ya que el de Homecenter al ser un producto textil, no logró evitar que la pared se mantuviera totalmente seca, y por transferencia, la humedad llegó en una mínima cantidad a la pared. El resultado en esta variable fue favorable para la materia de llanta de reciclada al igualar su desempeño con el de dos de sus competidores.

7.3. Estética – Cualitativa



Gráfica No. 7.2. Nivel estético de los sistemas verticales siendo 1 “deficiente”, 2 “medio” Y 3 “alto”. Determinado en la semana 1, 6 y 12 del ensayo.

En la primera semana todos los sistemas iniciaron en las mismas condiciones y con las mismas plantas en un estado de crecimiento similar en juventud y tamaño. Dado esto las plantas no cubrían las materas y la pared no se veía como un jardín vertical, por esta razón a los 4 sistemas se les calificó con el mínimo nivel estético 1 “deficiente”.

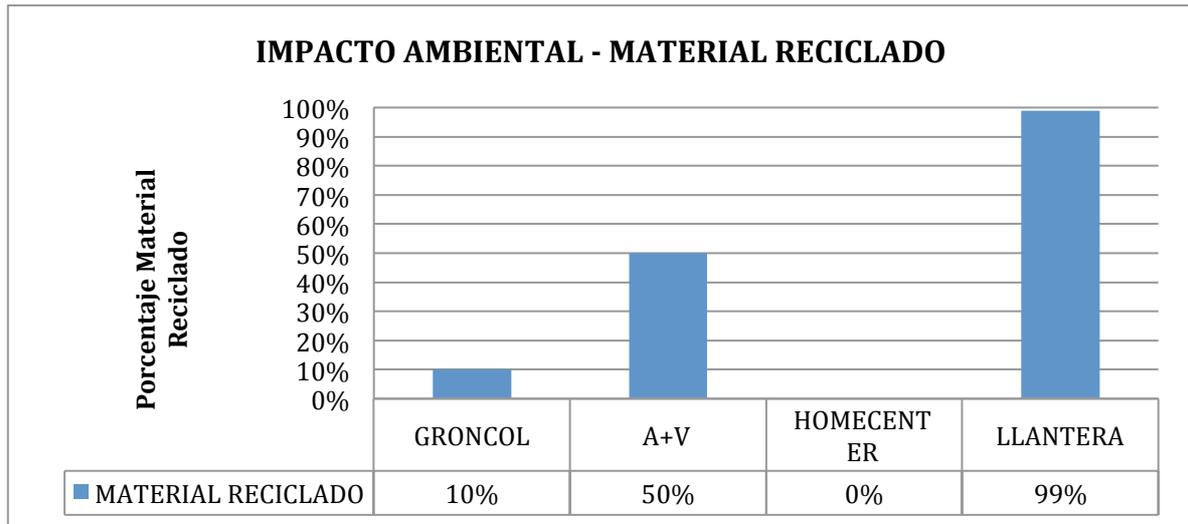
Después de 6 semanas se observan diferencias significativas entre los sistemas, las materas de Arquitectura más Verde (A+V) permitieron un crecimiento más rápido de la vegetación, alcanzando mayor cobertura en este período de tiempo, obteniendo el nivel 3 (alto) en estética (ver figura 7.2. f.). Los sistemas de Groncol y de llanta reciclada (Llantera) lograron una cobertura media, es decir un nivel 2 en estética en el mismo periodo de tiempo. Aunque el crecimiento de las plantas no fue igual de rápido al de A+V, no se detectan signos de muerte en las hojas o tallos. El sistema de Homecenter obtuvo el mínimo nivel (1) en la sexta semana debido a que todavía dejaba ver su matera y esto no favorece a un sistema de jardín vertical donde el ideal es que solo se vea la vegetación. Se asume que hay una relación entre el tamaño de los bolsillos en los cuales se siembra cada planta y la rapidéz de crecimiento y tamaño de la planta.

Al final del experimento los sistemas de Groncol y Llantera igualan a A+V y consiguen un nivel estético alto (3) debido a que logran cubrir sus respectivas materas, permitiendo ver únicamente la vegetación en los jardines verticales (ver figura 7.2. 1). El sistema de Homecenter no consigue igualar a los demás sistemas pero avanza de nivel “deficiente” a “medio”.

Se puede apreciar que el sistema de llanta reciclada consiguió un nivel estético alto en la última medición igualando a Groncol y a A+V. Lo anterior es favorable para la Llantera debido a que evita que se vea la llanta en un período no mayor a los 3 meses. Esta variable era una de las más importantes porque el usuario final de los sistemas de jardines verticales no contemplaría la opción de llantas recicladas por encima de los otros sistemas, si estas quedarán a la vista de la gente, debido a que no se apreciaría como algo estético.

7.4. Impacto Ambiental – Cuantitativa

El impacto ambiental se divide en dos gráficas, en la primera se muestra el porcentaje de material reciclado contenido en cada uno de los sistemas, esta información fue proporcionada directamente por las empresas. En la segunda se graficó el puntaje otorgado por el beneficio ambiental que aportan los sistemas de acuerdo a la Tabla 6.2. de la Metodología.

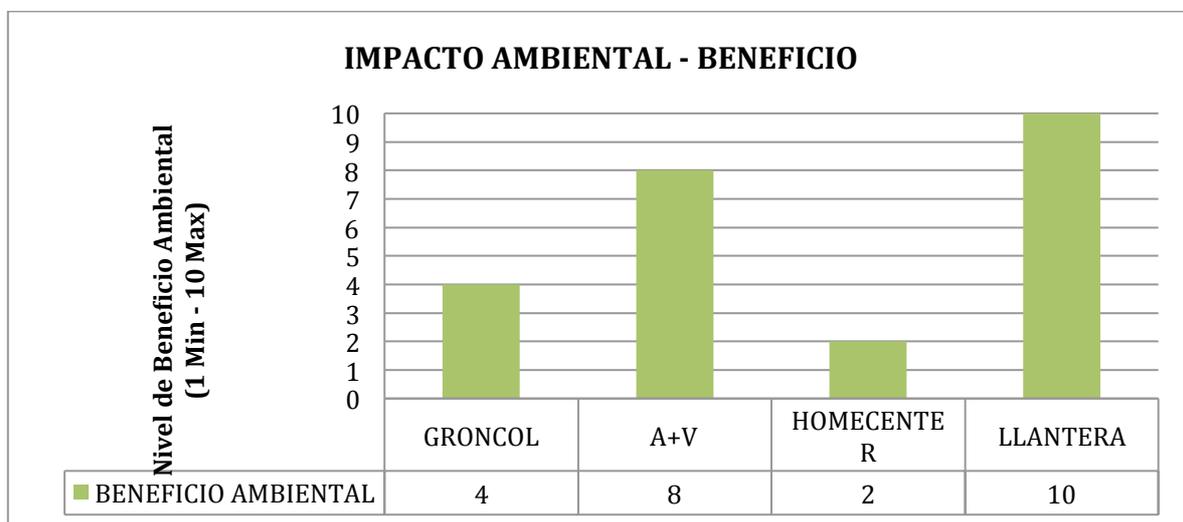


Gráfica No. 7.3. Porcentaje de material reciclado utilizado en cada uno de los sistemas de jardines verticales

Tal y como lo podemos observar, el sistema distribuido por Homecenter no cuenta con material reciclado por lo que no obtiene puntuación. Groncol con su sistema “the Green deck” fabricado en Chile por Greentech Ltda. cuenta con un 10% de polietileno reciclado (Herrera, 2015). Arquitectura más Verde según sus especificaciones técnicas tienen como requisito que la materia debe contar con un mínimo del 50% de material reciclado, lo cual equivale a 10 botellas plásticas desechadas. El aumento de este porcentaje depende de la disponibilidad de botellas, sin embargo por ningún motivo este puede llegar a ser inferior al 50% (Perico, 2014). El contenido de material reciclado para el caso de la Llantera es del 100%, sin embargo como se utilizaron tornillos para darle forma y fijar las paredes, y

adicionalmente para la instalación es necesario utilizar chazos los cuales no son reciclados se le asigna un porcentaje del 99% a este sistema.

Al no contar con un proceso de transformación, la Llantera aprovecha el 100% de la llanta sin arrojar desperdicios, mientras que los demás sistemas que cuentan con material reciclado lo mezclan con materiales como polietileno de alta densidad para formar su materia, reduciendo así su impacto ambiental.



Gráfica No. 7.4. Nivel de beneficio ambiental de los sistemas verticales según su impacto ambiental. 1 min. - 10 máx.

El nivel de beneficio ambiental otorgado a los sistemas, por ningún motivo puede llegar a ser inferior a 2 puntos, dado que todos cuentan con plantas como parte de su sistema. Sin embargo como podemos apreciar de la gráfica anterior vemos que el Sistema de Homecenter logró la mínima puntuación dado que carece de material reciclado. A+V alcanzó una buena puntuación logrando 8 de los 10 puntos posibles, lo anterior dado que cada una de sus

materas cuenta con un 50% de material reciclado y esto le otorgó 6 puntos más los 2 logrados por tener las plantas.

El sistema que alcanzó la máxima puntuación fue la Llantera debido a que este sistema toma la llanta desechada y sólo se debe cortar, ayudándose de tornillos para fijar sus paredes y formar de esta manera cada una de las materas.

El beneficio ambiental que se obtiene con la Llantera alcanza una puntuación de 10/10. Esto debido a que el material reciclado usado en el sistema es del 99%. Adicionalmente este sistema ataca tres problemas a la vez: 1) da un segundo uso a llantas desechadas que actualmente generan un grave problema al carecer de sitios apropiados para su recolección, generando vectores negativos para la salud de las personas. 2) Incrementa el uso de vegetación en las ciudades ayudando a reducir la contaminación ambiental y retardando el paso del agua lluvia. 3) Reduce la huella de carbono existente en las grandes ciudades convirtiendo el CO₂ en O₂ a través de las plantas sembradas en el sistema de jardín vertical. Los demás sistemas no logran cubrir estos mismos beneficios ambientales, A+V que es el sistema que le sigue en beneficio a la Llantera solo cuenta con el 50% de material reciclado usando 10 botellas plásticas por matera (Perico, 2014). El sistema de Groncol cuenta con un porcentaje muy bajo de material reciclado en comparación con la Llantera, por lo que podemos observar que esta última es la que genera un beneficio mayor al medio ambiente.

7.5. Cobertura Vegetal – Cuantitativa

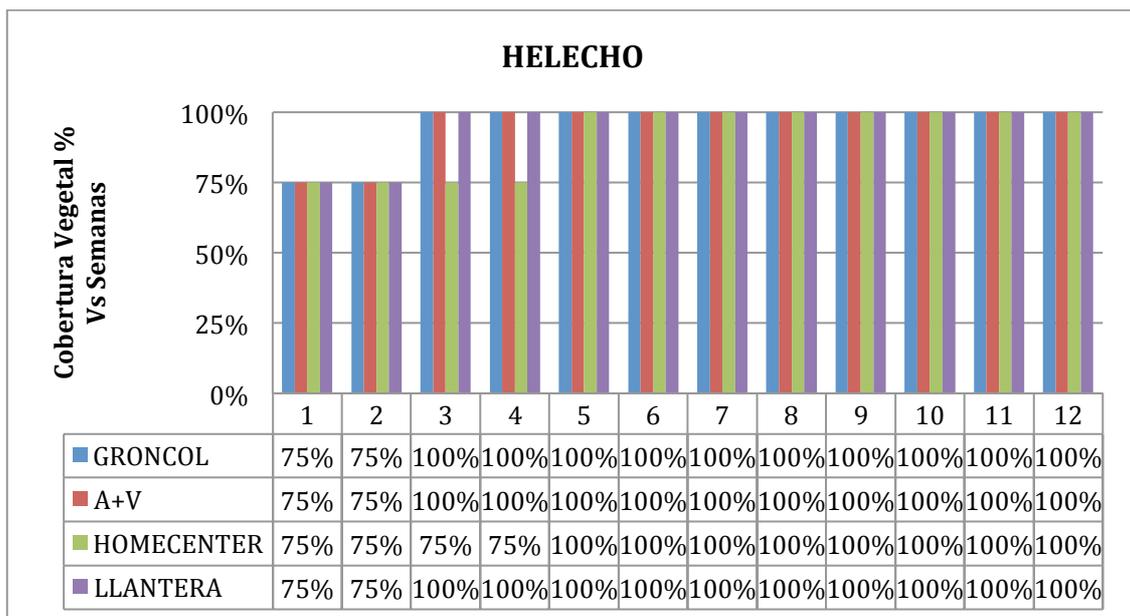
Para esta variable se graficaron dos aspectos, por un lado se analiza el comportamiento individual de cada tipo de planta, y adicionalmente se analiza el comportamiento de todos los tipos de plantas en cada uno de los sistemas. Esto con el propósito de identificar si las plantas

se ven afectadas por los sistemas, incrementando su índice de cobertura vegetal. Los resultados encontrados se muestran a continuación:

7.5.1. Cobertura Vegetal – Plantas

Este análisis mostró el comportamiento de cada una de las plantas, comparándola simultáneamente en los 4 sistemas para revisar si se presentan cambios significativos inherentes a las materas. Esto nos demostró que tan apropiada fué cada planta para los diferentes sistemas.

7.5.1.1. Helecho Boston (*Nephrolepis exaltata*)



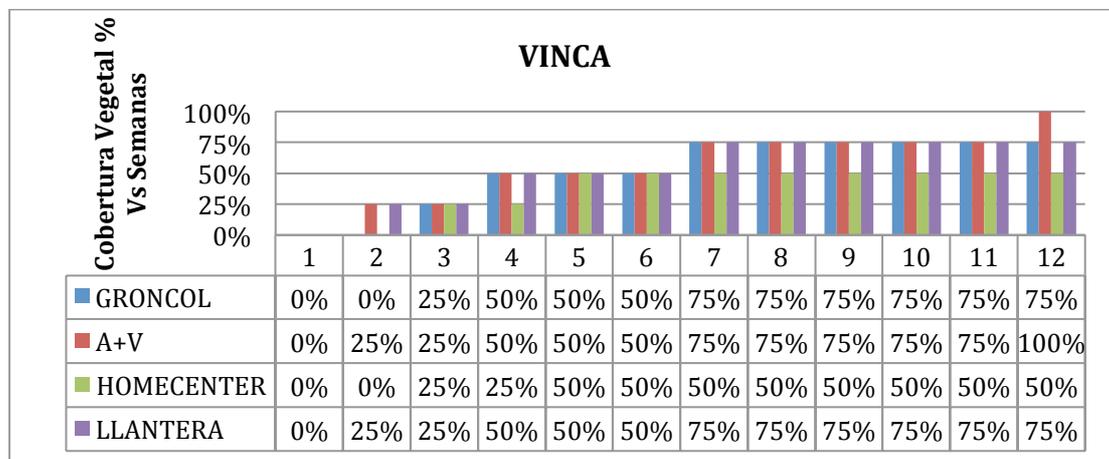
Gráfica No. 7.5. Cobertura vegetal (%) de cada una de las diferentes especies de plantas utilizadas en cada sistema durante un periodo de 12 semanas

El helecho desde su inicio muestra una cobertura vegetal amplia, iniciando en un 75% desde la primera semana de evaluación. En el sistema de llanta reciclada se obtiene una cobertura del 100% a la tercera semana de evaluación, así mismo, la cobertura del 100 % la alcanza

esta especie en la tercera semana en los sistemas de A+V y Groncol. En el sistema de Homecenter el helecho obtiene la cobertura del 100 % a la quinta semana de evaluación.

La Llantera demuestra con esta planta que cuenta con las características necesarias para permitir su máximo desarrollo al igual que lo hicieron Groncol y A+V, siendo esto positivo para la matera elaborada con llanta reciclada.

7.5.1.2. Vinca (*Vinca major variegata*)



Gráfica No. 7.6. Cobertura vegetal (%) de la vinca durante las 12 semanas en los diferentes sistemas empleados

En el momento de la siembra la vinca no alcanza a cubrir la matera y por esta razón se le asigna el 0% de cobertura vegetal en los 4 sistemas. En la segunda semana los sistemas de A+V y Llantera presentan una cobertura del 25%, mientras que los de Groncol y Homecenter igualan a estos dos en la tercera semana. En la cuarta semana los sistemas de Groncol, A+V y Llantera llegan a un 50 % de cobertura vegetal.

El sistema de Homecenter llega a cubrir este porcentaje en la sexta semana. Durante la semana 7 y la 12 el porcentaje se mantiene en 75% de cobertura vegetal sobre las materas

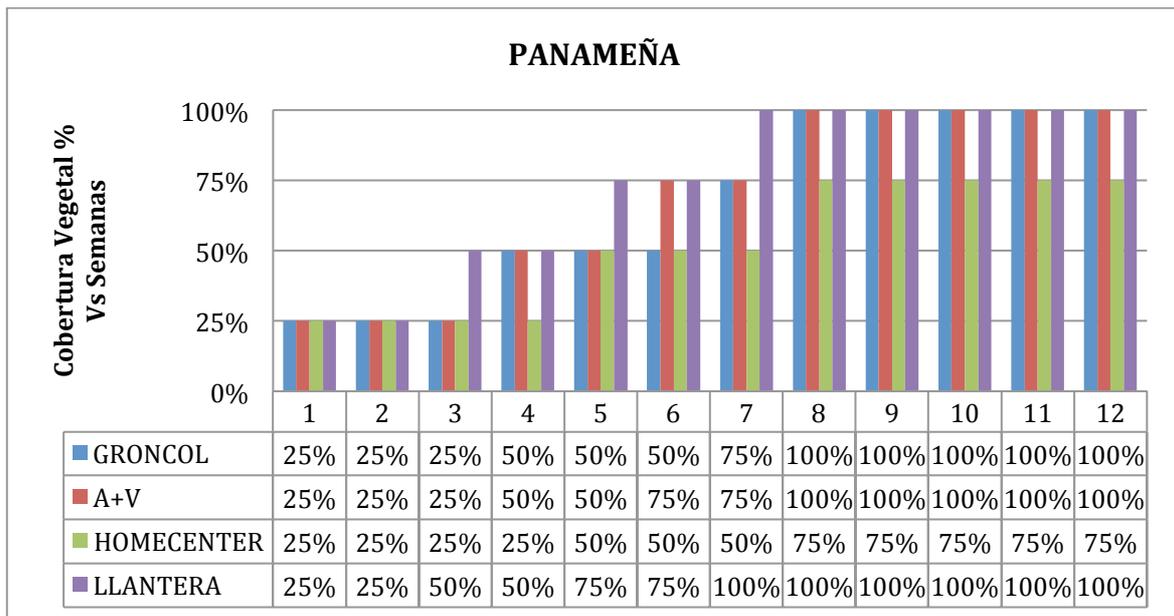
para los sistemas de Groncol y Llantera. El sistema de A+V también logra este mismo resultado, sin embargo logra cubrir el 100% de la materia para la doceava semana. En cuanto a cobertura vegetal, el sistema de Homecenter se observa la menor cobertura (50%) y el de mayor cobertura es el de A+V (100%). En el sistema de llanta reciclada la vinca presenta una cobertura similar a la de Groncol (75%) después de 12 semanas de evaluación.



Figura No 7.4. Imágenes de la flor en la Llantera en las semanas 9,10,11,12

Cabe resaltar que en el único sistema que la vinca desarrollo flor durante el periodo de tiempo de 12 semanas fue en la Llantera, tal y como se puede apreciar en la Figura 7.4. demostrando que este sistema ayuda al adecuado desarrollo de la planta, mientras que los demás sistemas no generaron florecimiento.

7.5.1.3. Panameña (*Tradescantia zebrina*)



Gráfica No. 7.7. Cobertura vegetal (%) de la panameña durante las 12 semanas en los diferentes sistemas empleados

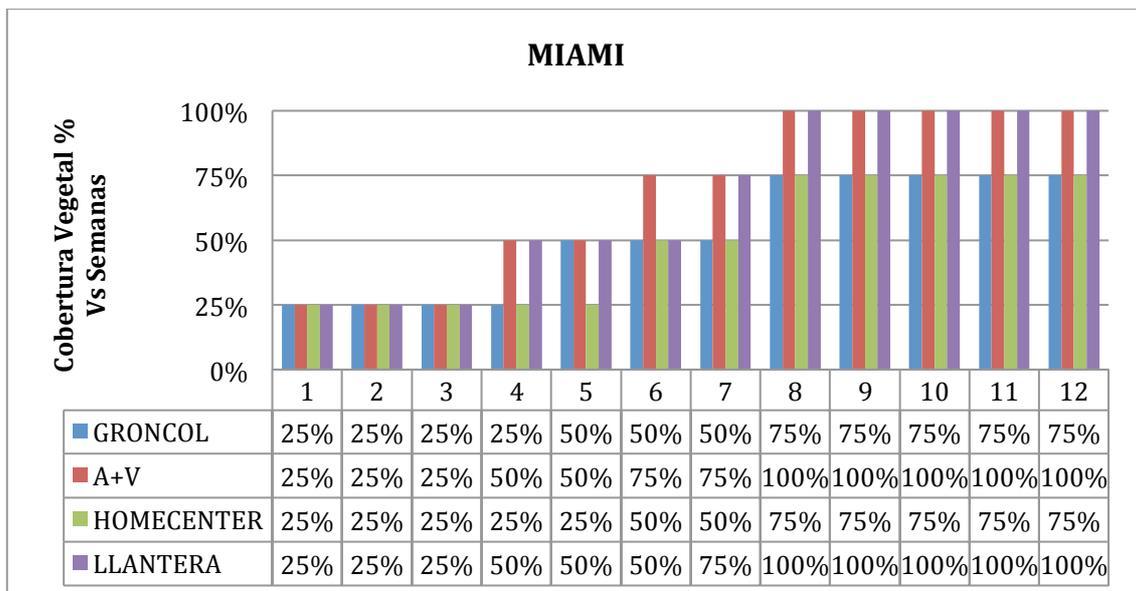
La panameña inicia el experimento con una cobertura vegetal del 25% en los 4 sistemas y el primero en llegar al 50% es la Llantera en la tercera semana. El sistema de Groncol y A+V alcanzan este porcentaje en la cuarta semana, sin embargo para este momento el sistema de Homecenter todavía se mantiene en el 25% inicial. En la quinta semana Groncol y A+V se mantienen estables, mientras que el sistema de Homecenter llega al 50% igualando a los dos sistemas mencionados anteriormente. Para este momento la panameña logra cubrir $\frac{3}{4}$ partes de la Llantera con su vegetación.

La Llantera logra una cobertura vegetal del 100% después de 7 semanas. Los sistemas de Groncol A+V logran 100% de cobertura después de 8 semanas. La panameña presenta la menor cobertura (75%) en el sistema de Homecenter la cual la alcanzó después de 8 semanas. Desde la semana 8 hasta la 12 el experimento no presenta modificaciones en la cobertura vegetal, para los sistemas de Groncol, A+V y Llantera la cobertura es del 100%, el único

sistema que no alcanzo este porcentaje fue el de Homecenter cerrando la doceava semana con un 75%.

Se puede observar de la gráfica que la Llantera en comparación con los demás sistemas, fue la primera en que la cobertura vegetal llegó a su totalidad cubriendo el 100% de la materia, concluyendo que los requisitos de la panameña para su pleno desarrollo fueron suministrados por este sistema.

7.5.1.4. Miami (Hedera)



Gráfica No. 7.8. Cobertura vegetal (%) de la miami durante las 12 semanas en los diferentes sistemas empleados

La cobertura vegetal en la miami es del 25% en todos los sistemas durante las semanas 1 a 3. En la cuarta semana solo los sistemas de A+V y Llantera aumentan al 50% su cobertura vegetal, mientras que Groncol alcanza este porcentaje en la quinta semana.

La miami alcanza 100 % de cobertura vegetal en el sistema de llanta reciclada después de 8 semanas, el mismo tiempo alcanzado en el sistema de A+V. En los sistemas de Homecenter y

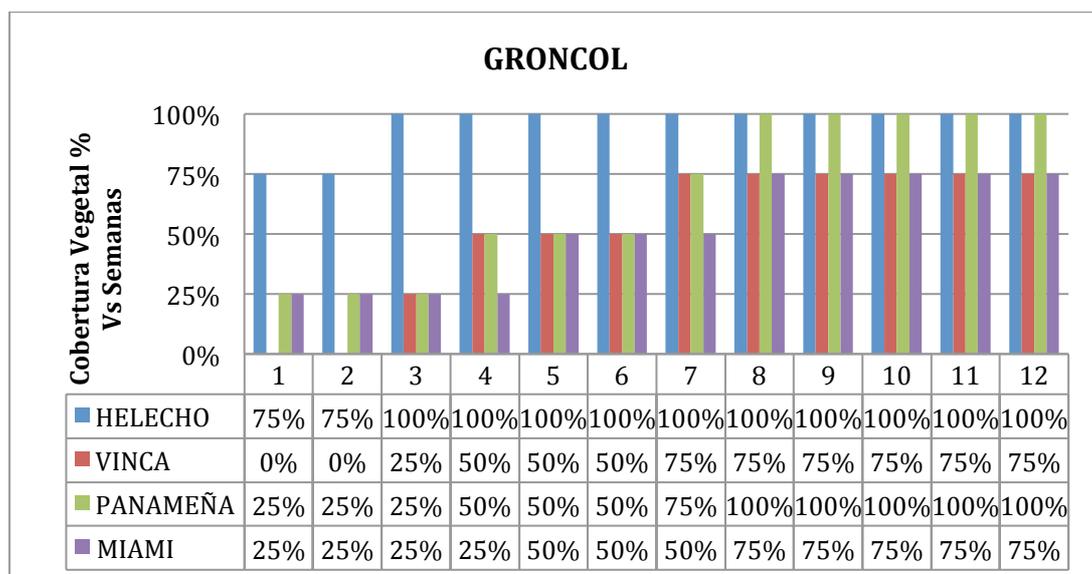
Groncol la máxima cobertura vegetal es del 75% y se alcanza después de 8 semanas de evaluación.

La miami logró su mejor desempeño en la Llantera y A+V, lo anterior es un resultado que beneficia al sistema de llanta reciclada porque muestra que puede generar el mismo beneficio para sus plantas que A+V que mostró el mejor desempeño durante este experimento en los 4 tipos de plantas.

7.5.2. Cobertura Vegetal – Sistemas Jardines Verticales

Con el análisis de resultados de los sistemas podremos encontrar cual sistema es apropiado para el óptimo desarrollo de las plantas. Comparando los 4 tipos de sistemas, con los que se cuenta en el experimento, se sabrá cuál de ellos es el menos y el más favorable para las plantas.

7.5.2.1. Groncol



Gráfica No. 7.9. Porcentaje de cobertura vegetal sobre el sistema Groncol durante el periodo de 12 semanas

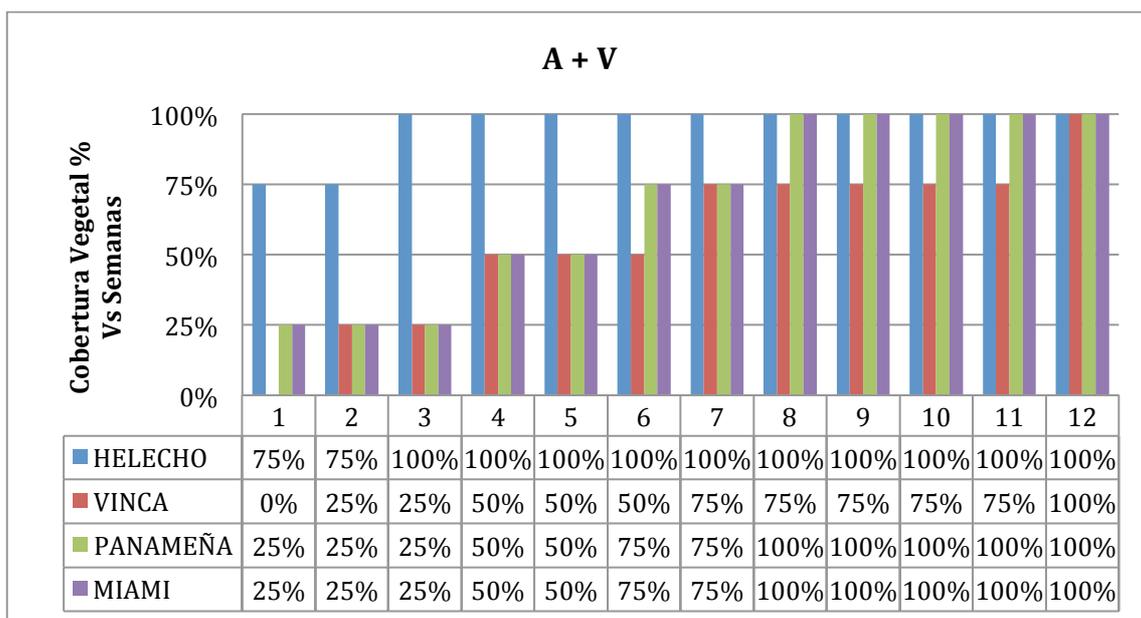
En el sistema de Groncol las plantas obtienen un 100 % de cobertura después de 3 semanas con el helecho, y 8 semanas con la panameña. Las otras dos especies, vinca y miami, alcanzan máximo 75 % de cobertura después de 7 y 8 semanas respectivamente.

Por lo anterior se puede observar que Groncol cuenta con una materia apropiada para el óptimo desarrollo de las plantas, dado que dos de ellas finalizaron con el 100% de cobertura sobre la materia y las otras dos con el 75%. Sacando el promedio del sistema de Groncol nos arroja el 87.5% de cobertura vegetal en la finalización del experimento.



Figura No 7.8. Matera Groncol

7.5.2.2. Arquitectura más Verde



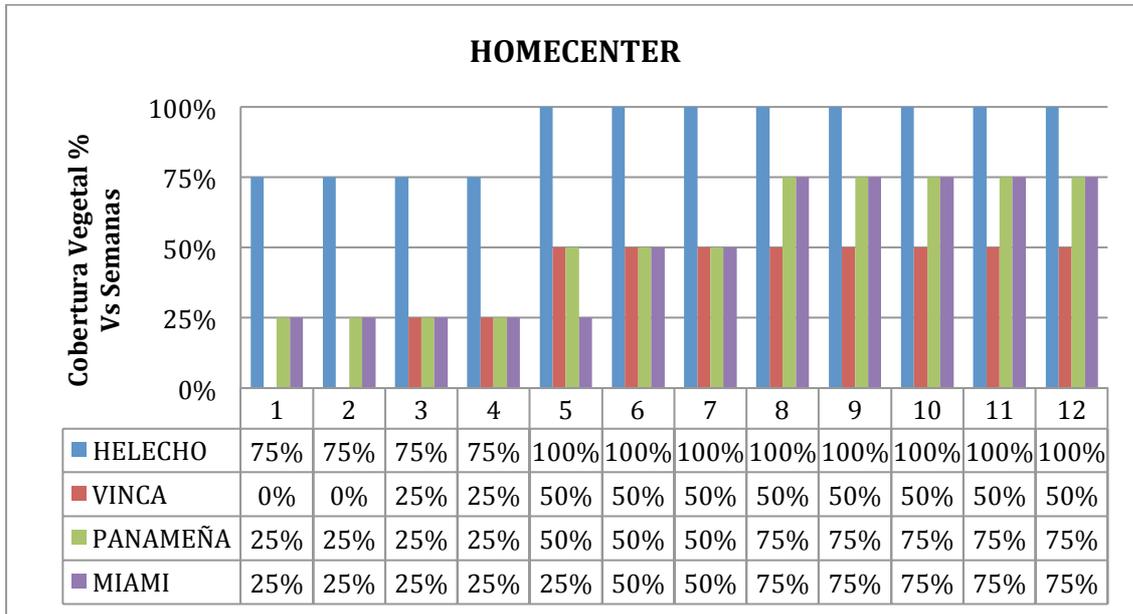
Gráfica No. 7.10. Porcentaje de cobertura vegetal sobre el sistema A+V durante el período de 12 semanas

Este sistema de A+V (gráfica 7.10.) muestra la tendencia de crecimiento de las plantas, sin embargo al finalizar el experimento en la semana 12 se puede apreciar que todas las plantas logran una cobertura del 100%. El helecho fue el primero alcanzándolo en la semana 3, seguido por la panameña y miami en la semana 8 y finalmente la vinca en la semana 12. Lo anterior muestra que el sistema de A+V cuenta con óptimas condiciones para el desarrollo de las plantas. El promedio encontrado para este sistema fue del 100% en la última semana del experimento.



Figura No 7.9. Madera Arquitectura más Verde

7.5.2.3.Homecenter



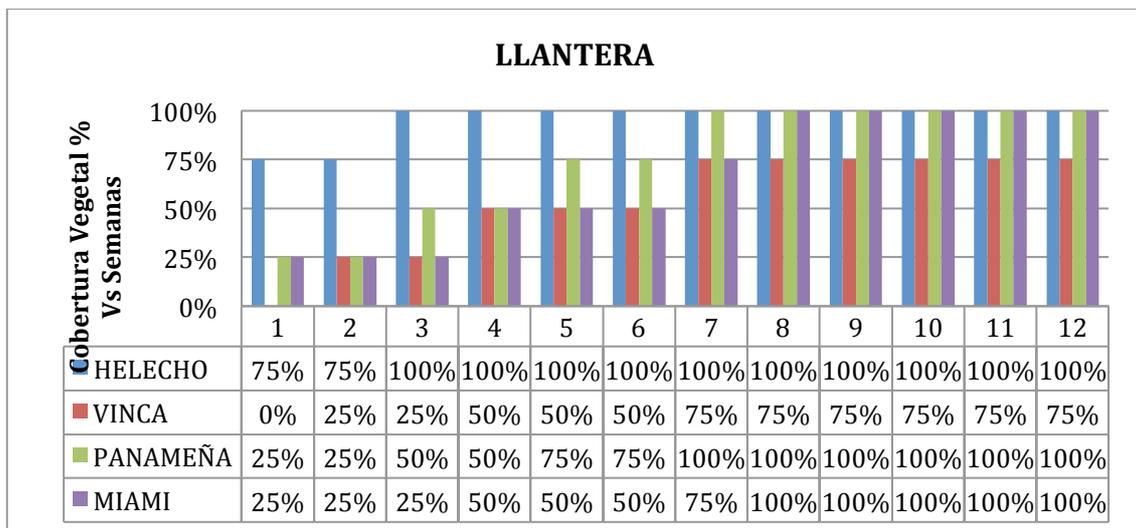
Gráfica No. 7.11. Porcentaje de cobertura vegetal sobre el sistema de Homecenter durante el periodo de 12 semanas

La gráfica 7.11. nos muestra una tendencia positiva de cobertura vegetal a una tasa no muy elevada, en donde a partir de la semana 8 las plantas llegan a su cobertura definitiva siendo el helecho la única en lograr el 100% de cobertura sobre la materia al finalizar el experimento en la semana 12. La vinca llegó a un máximo del 50% y la panameña y miami alcanzaron el 75%. El promedio calculado fue del 75% en la semana 12.



Figura No 7.10. Sistema / Madera Manteltex (Homecenter)

7.5.2.4.Llantera



Gráfica No. 7.12. Porcentaje de cobertura vegetal sobre el sistema de llanta reciclada (Llantera) durante el periodo de 12 semanas

La gráfica de la Llantera, (7.12.), nos muestra el crecimiento de las plantas a través del tiempo, a excepción de la vinca con un porcentaje del 75%, mientras todas las demás lograron cubrir al 100% sus respectivas materas. El helecho lo realizó en la tercera semana, la panameña en la séptima y la miami en la octava semana. Por lo anterior se evidencia que la

Llantera cuenta con las condiciones necesarias para el óptimo desarrollo de las plantas. Obtuvo un promedio del 93.75% en el cierre del experimento.

En cuanto a cobertura vegetal el sistema que presenta mayor cobertura a las 12 semanas de evaluación es A+V con un 100% seguido por Llantera (93.75%), luego Groncol (87,5%) y por último Homecenter (75%).

En comparación con los demás sistemas se puede observar que solo A+V consiguió un mejor desempeño beneficiando a las plantas. Sin embargo la Llantera obtuvo el segundo puesto, según promedios calculados de cobertura vegetal, sobrepasando a Groncol y Homecenter. Por lo anterior el sistema de llanta reciclada demuestra que cuenta con los requerimientos necesarios para competir con estos productos ya posicionados en el mercado de jardines verticales.



Figura No 7.11. Matera de Llantera Reciclada (Llantera)

7.6. Durabilidad Vegetal – Cuantitativa

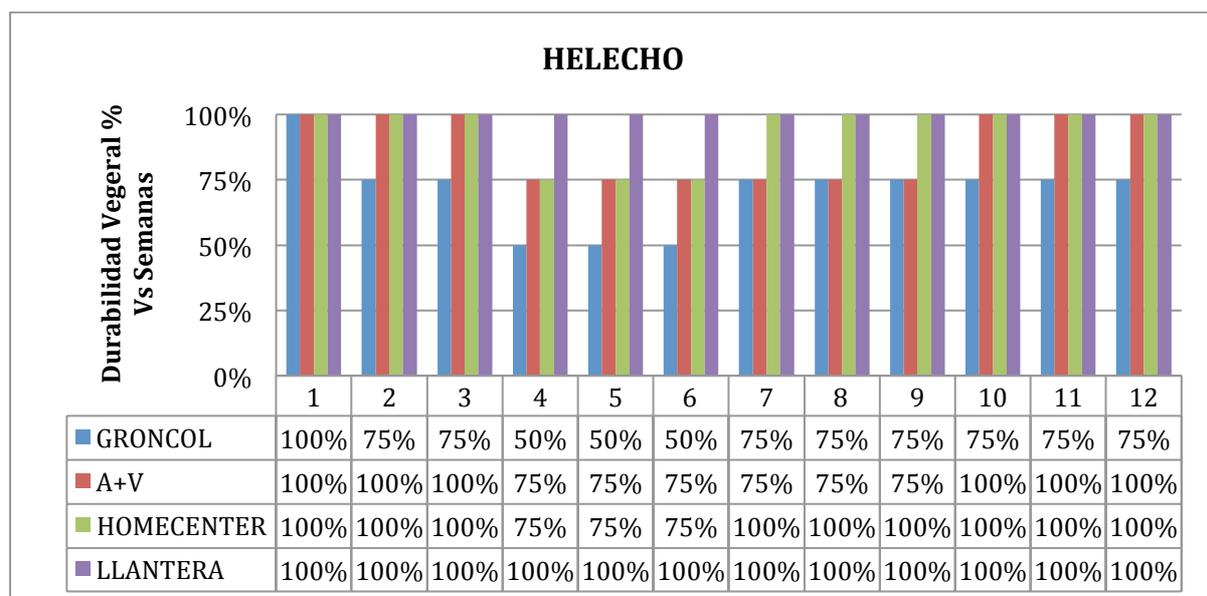
La durabilidad vegetal nos mostró el comportamiento de la planta desde la perspectiva de su fortaleza para sobrevivir durante el tiempo del experimento. Se analizó cada tipo de planta de manera independiente para identificar las ventajas y el mejor proceso de adaptación dentro de

las diferentes especies de plantas, el resultado de este experimento para la durabilidad vegetal fue satisfactorio dado que ninguna planta murió durante el tiempo estudiado.

Para el caso de este experimento se tomaron las precauciones para evitar las enfermedades de las plantas, adquiriéndolas de viveros de confianza y revisando el estado de sus raíces, tallos y hojas, es necesario contemplar que una o más plantas vengan con algún tipo de enfermedad y que esta o estas puedan llegar a morir.

En caso de presentarse muerte en las plantas esta podría ser causada por agentes diferentes a los factores anteriormente descritos en la metodología. Existen virus y agentes patógenos que no se pueden identificar, aunque hay indicadores de salud y de las tasas de crecimiento que permiten inferir la causa y atribuirla al sistema de materas o a enfermedades. Si la muerte se presenta en las primeras semanas se puede inferir que la causa de muerte se puede atribuir al sufrimiento durante el trasplante o a enfermedades previas de la planta.

7.6.1. Helecho (Nephrolepis exaltata)



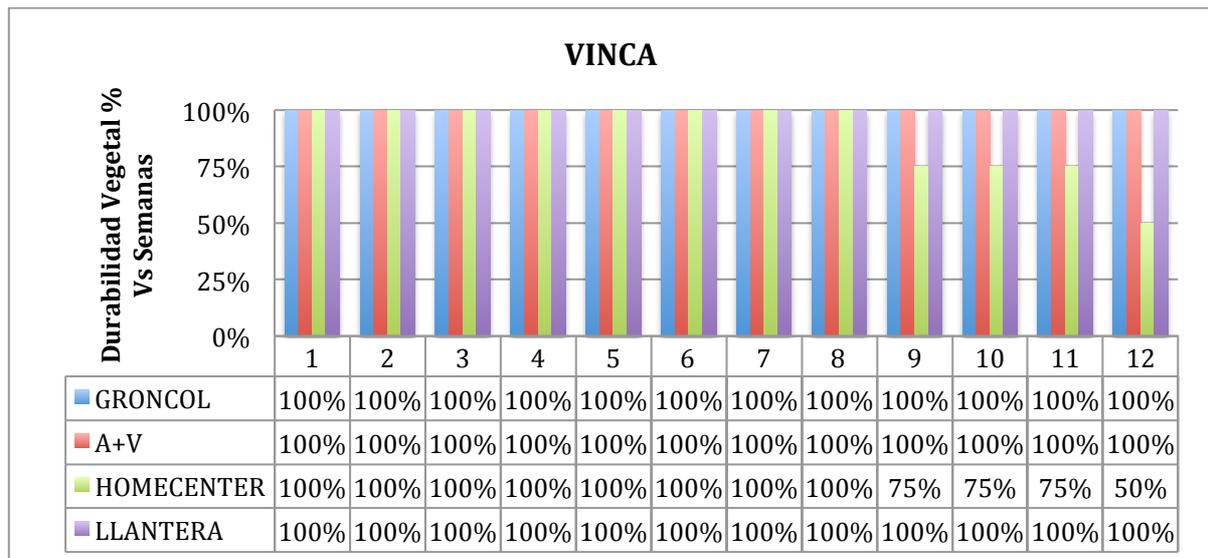
Gráfica No. 7.13. Durabilidad vegetal (%) del helecho en los diferentes sistemas durante 12 semanas

Tal y como lo podemos observar en la gráfica 7.13, el helecho inició en todos los sistemas al 100% y no fue sino hasta la siguiente semana que en el sistema de Groncol presentó una decoloración parcial en unas de sus hojas generando una disminución en su durabilidad vegetal quedando en el 75%, obteniendo el peor registro de la cuarta a la sexta semana. Dado que la muerte de las hojas del helecho se presentó desde la segunda semana, es posible inferir que esta planta viniera con algún tipo de enfermedad y que en consecuencia tuvo problemas para adaptarse y sobrevivir. Aunque a partir de la séptima semana se pudieron identificar signos de mejoría por lo tanto la planta entró en un proceso de recuperación y consecuentemente se concluye que el sistema de materas de Groncol probablemente no ha sido el causante del daño. Además en la misma matera se sembraron 3 plantas de helechos y solo una presentó signos de enfermedad.

En las materas de A+V y Homecenter el helecho tuvo una tasa de durabilidad del 100%, entre las semanas 4 y 9, y 4 y 6 respectivamente, las plantas presentaron un decrecimiento llegando a una tasa del 75%, su proceso de adaptación continuó positivamente recuperándose hasta alcanzar nuevamente el 100% desde la semana 10 para A+V y semana 7 para Homecenter.

En el sistema hecho con llanta reciclada se observó una durabilidad vegetal constante y estable del 100% durante todo el experimento, demostrando la buena adaptabilidad del helecho como planta autóctona, y el buen comportamiento que tienen las materas de este sistema para permitir el crecimiento sano de la vegetación. En comparación con los demás sistemas obtuvo un comportamiento similar en cuanto a la durabilidad vegetal.

7.6.2. Vinca (Vinca major variegata)



Gráfica No. 7.14. Durabilidad vegetal (%) de la vinca en los diferentes sistemas durante 12 semanas

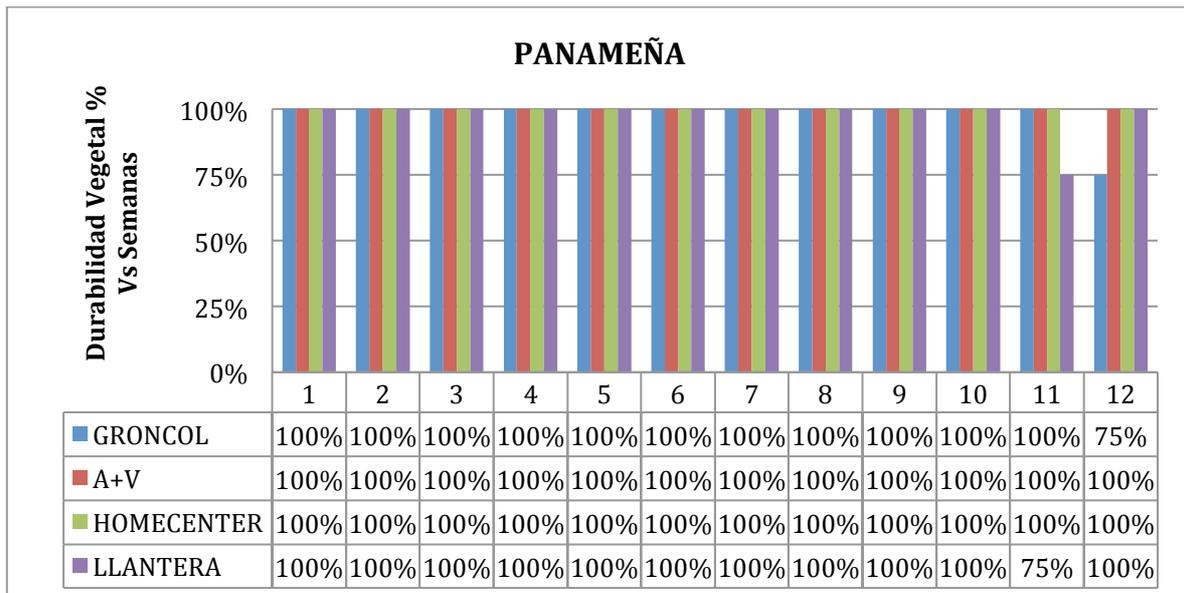
En los sistemas de Groncol, A+V y Llantera la vinca presentó una tasa de durabilidad sostenida del 100%. Se puede concluir a partir de la gráfica que los sistemas permiten el sano desarrollo de esta planta y que a lo largo de 12 semanas, su proceso de crecimiento y durabilidad demostró la salud y bienestar de la planta.

En el caso de la materia de Homecenter, reiterando lo dicho en diferentes apartes de este trabajo, se encontró que el poco espacio de los bolsillos impide un adecuado crecimiento, en consecuencia durante las semanas 9, 10, 11 y 12, la vinca decreció y manifestó síntomas de decoloración (amarillo y café) y bajo crecimiento alcanzando una tasa del 50% para la última semana.

Por lo anterior podemos manifestar que la vinca es un buen tipo de planta para los sistemas de jardines verticales, siempre y cuando se utilice en las regiones autóctonas de esta especie y cuente con una materia para sembrarla superior a estas dimensiones: 10 cm de ancho, 10 cm

de alto y 10 cm de fondo. Lo anterior basándonos en las dimensiones del sistema de Homecenter el cual fue el que obtuvo el menor porcentaje de supervivencia para la vinca. Por otra parte, la Llantera consiguió mantener la durabilidad constante al 100%, igualando positivamente a los otros dos sistemas.

7.6.3. Panameña (*Tradescantia zebrina*)



Gráfica No. 7.15. Durabilidad vegetal (%) de la vinca en los diferentes sistemas durante 12 semanas

La panameña es una planta que al igual que las otras plantas objeto de este estudio se adapta favorablemente a los sistemas de jardines verticales. La supervivencia generalizada en todos los sistemas usados para este experimento fue del 100%, salvo en las semanas 11 y 12 en las materas de Llantera y Groncol respectivamente. En ambos casos la tasa de supervivencia vegetal llegó al 75% ya que la planta presentó una decoloración, en el caso de Llantera se observó su recuperación en la siguiente semana alcanzando nuevamente una tasa del 100%.

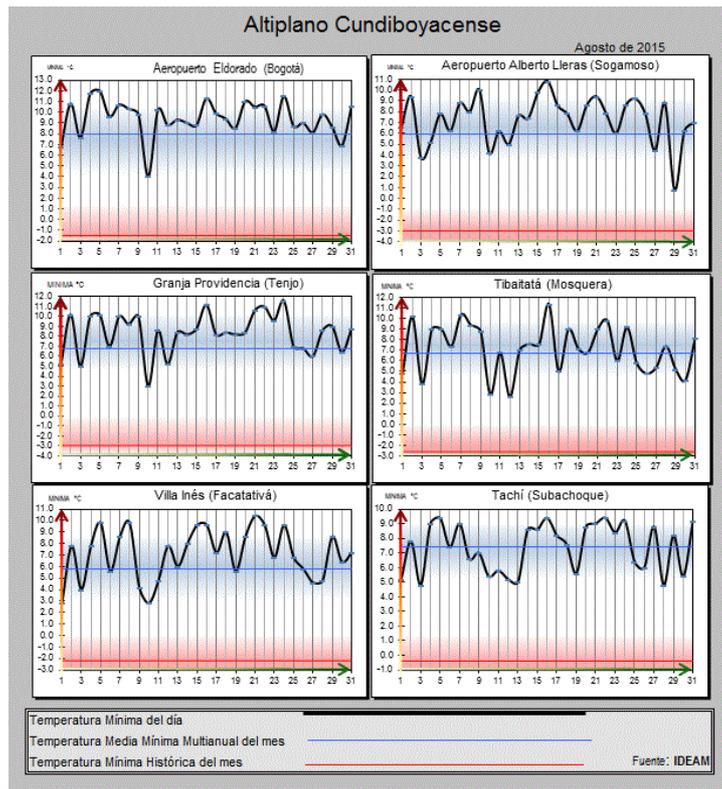


Figura No 7.12. Variabilidad diaria de la temperatura - IDEAM

Según el IDEAM (IDEAM, 2015), la semana 11 de nuestro estudio inició el lunes 10 de agosto de 2015, fecha en la cual se registró la temperatura más baja en Bogotá y sus alrededores. Es probable que el clima y la disminución repentina en la temperatura hayan afectado la planta causando decoloración, pero dado que es una planta autóctona se recupera. Tal y como observamos la recuperación de la planta en la Llantera, se espera que esta planta también presente una recuperación en el sistema de Groncol, dado que no fue una disminución generalizada sino puntual en unas hojas. Tal y como se describió en la metodología de esta variable otros de los factores que pueden causar “amarillamiento” es por la deficiencia en la fertilización, raíces en malas condiciones o compactas y drenaje insuficiente, sin embargo de haber sido una de estas la causante, las plantas no habrían sobrevivido debido a que son factores constantes que afectan permanentemente al sistema.

Se considera que es una buena especie para ser trabajada en los sistemas de jardines verticales porque tiene una alta resistencia al clima de Bogotá y sus alrededores, evitando morir en las bajas temperaturas registradas.

7.6.4. Miami (*Hedera*)

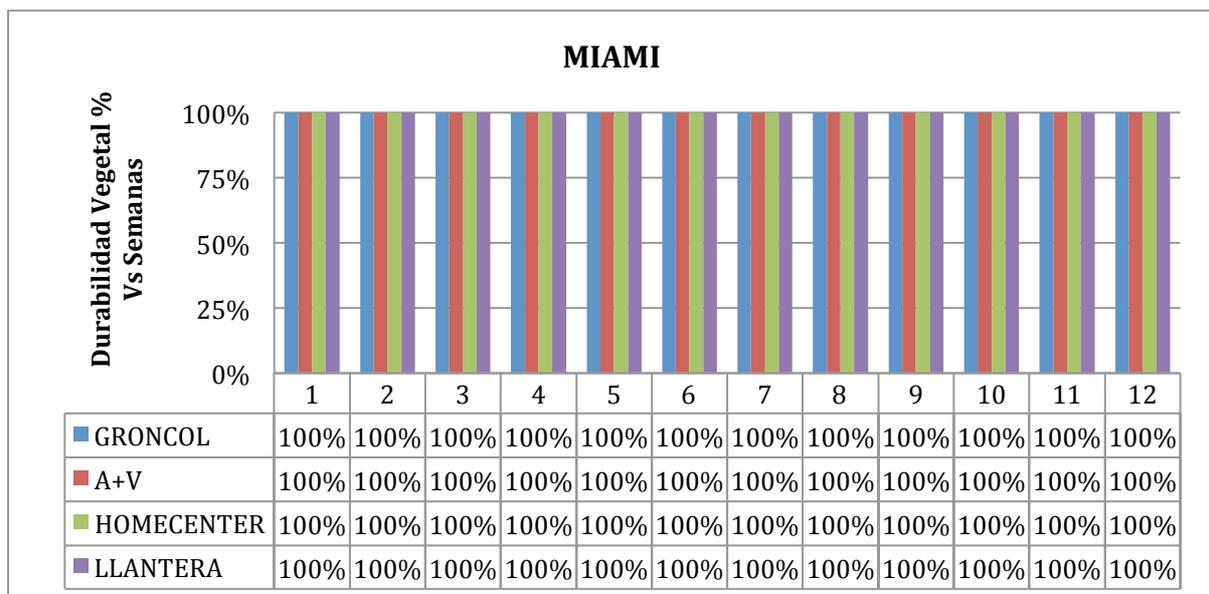


Gráfico No. 7.16. Durabilidad vegetal (%) de la miami en los diferentes sistemas durante 12 semanas

Esta planta fue la que mejor tasa de supervivencia vegetal obtuvo en todos los sistemas, se mantuvo constante en el 100% a lo largo de las 12 semanas, mostrando su adaptación a espacios de bolsillos reducidos, materas grandes, variaciones del clima y enfermedades.

Dado que fue la planta que mejor se adaptó, incluso al sistema de Homecenter de bolsillos pequeños que cuenta con menor cantidad de sustrato. Se recomienda su uso en este tipo de paredes verdes.

7.7.Mantenimiento de las plantas – Cuantitativo

El mantenimiento para el caso de este experimento requirió de una persona que regará los sistemas 3 veces por semana los días lunes, miércoles y viernes. Para realizar el riego fue necesario contar con una regadera para suministrar la misma cantidad de agua a cada una de las materas en los diferentes sistemas y así evitar que unas materas obtuvieran mayor cantidad de agua que las otras. Un punto de agua lluvia (reciclada) para evitar el uso de agua potable de la llave. No se realizó ningún tipo de corte (poda) a las plantas durante el período del experimento ni se les adicionaron nutrientes ni sustrato.

7.8.Costo Mantenimiento – Cuantitativo

El costo del mantenimiento puede llegar a ser prácticamente “\$0” si se cuenta con el riego automatizado, sin embargo esto requiere una mayor inversión inicial que para el caso de este experimento no se realizó. Si se quiere evitar el costo de la automatización, esto generará un costo por mano de obra en el mantenimiento semanal del sistema, que para el caso de este año equivale a medio salario mínimo mensual \$322.175 adicionar el valor que debe pagar la empresa (24 horas semanales) para contratar una persona por medio tiempo que realice el riego 3 veces por semana. En caso de quedar con horas libres se puede incluir el corte de las plantas cuando se requiera, abonar las plantas o cambiarlas en caso de que alguna muera. Este costo de mantenimiento aplica para los 4 sistemas de jardines verticales.

7.9. Costo Sistema – Cuantitativo

El ítem que representa la mayor diferencia y el mayor gasto en la instalación de paredes verdes es la materia, ya que en todos los sistemas el sustrato y las plantas usadas es el mismo. En el mercado existen sistemas económicos como el encontrado en Homecenter o sistemas especializados de empresas dedicadas al tema que por su reputación, diseño, y desarrollo tienen un mayor valor.

La Llantera tiene ventajas en los costos frente a los demás sistemas, la materia prima se puede obtener de manera gratuita mediante la reutilización de llantas viejas (en desuso); su manufactura no requiere personal especializado, simplemente una capacitación en la producción de la misma. Dado el diseño y fabricación de la Llantera, para este ejercicio no requiere ni máquinas moldeadoras ni herramientas sofisticadas para cortar la llantera y obtener el molde base de la materia para armarla, sin embargo es necesario utilizar cierras que corten los alambre dentro de la llanta, para este caso se usó una pulidora. Este proceso se realiza en los dos primeros centímetros de los bordes de la llanta que es donde se encuentra la mayor cantidad de alambre, una vez cortado este borde con la pulidora se procede a continuar el corte hasta su finalización con una segueta.

La cantidad de unidades producidas por hora se midió y arrojó un resultado de 16 minutos por Llantera terminada, tiempo en el que se corta la llanta, se le hacen los agujeros requeridos y se le instalan los tornillos. Esto da un resultado de 3.8 unidades por hora; los tornillos y chazos requeridos por unidad de Llantera cuestan \$1.000. El valor del arriendo está contemplado para un inmueble de 80 m² en un sector rural en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca. Se utilizó el valor del salario mínimo mensual vigente para el año 2015. Todos los datos se muestran a continuación.

PRODUCCIÓN LLANTERA - COSTOS UNITARIOS		
1 SMMLV (2015)	644,350	\$
Horas laborales por semana	48	horas
Horas laborales por mes	192	horas
Llanteras producidas por hora	3.75	Und
Llanteras producidas por mes	720	Und
Costo de mano de obra por unidad	895	\$
Tornillos y chazos	1000	\$
Costo Produccion Llantera por unidad	1,895	\$
Costo Llantera por metro cuadrado (m2)	18,949	\$

INFRAESTRUCTURA LLANTERA - COSTOS UNITARIOS		
Costo arriendo mensual	1,000,000	\$
Número de empleados	2	Und
Costo por empleado	644,350	\$
Unidades producidas por mes x # empleados	1440	Und
Incidencia infraestructura por Llantera	1,142	\$
Incidencia infraestructura por m2	11,419	\$

COSTO TOTAL UNITARIO LLANTERA	3,037	\$
COSTO TOTAL LLANTERA POR M2	30,368	\$
VENTA AL PUBLICO	55,900	\$
UTILIDAD PRELIMINAR PROYECTADA	25,532	\$
UTILIDAD PORCENTUAL PROYECTADA	45.7%	%

Tabla No. 7.2. Datos y Costos de la Producción e Infraestructura requerida por metro cuadrado (m²) para la producción de la Llantera

Los valores mostrados en la siguiente tabla no incluyen: costo de instalación, suministro del sustrato, compra de plantas ni su siembra en el sistema.

SISTEMA	COSTO x M2	Veces en Llantera x M2
GRNCOL	560,000	10.02
A+V	250,000	4.47
HOMECENTER	83,800	1.50
LLANTERA	55,900	1.00

Tabla No. 7.3. Comparación de valores por metro cuadrado de los sistemas expresados en número de veces de metros cuadrados del sistema Llantera.

Tal y como lo podemos observar en la tabla anterior, la Llantera tiene el precio de venta al público más bajo de los sistemas aquí comparados. Por ejemplo con lo que se adquiere un metro cuadrado del sistema distribuido por Homecenter se puede comprar 1.50 m² de Llantera. En el caso de A+V se pueden comprar 4.47 m² de Llantera con el dinero que se compraría un solo metro cuadrado de este sistema. El sistema más costoso encontrado en el mercado lo tiene Groncol por un valor de \$560.000 por m², esto equivale a comprar 10 m² de Llantera.

Por lo tanto la Llantera permite disminuir los costos en la elaboración de las paredes verdes sin afectar la calidad del jardín vertical, tal y como se puede apreciar en las variables anteriores.

8. CONCLUSIONES

Este estudio comparó un sistema vertical basado en llantas recicladas contra sistemas comerciales durante 12 semanas. Se evaluaron los indicadores: Peso, Humedad de la pared, Estética, Impacto ambiental, Costo del mantenimiento, Costo del sistema, Cobertura vegetal, Durabilidad vegetal, Mantenimiento de las plantas; los cuales permitieron determinar la viabilidad del sistema de paredes verdes con llantas recicladas, para su implementación de manera intensiva.

El estudio de las variables permitió determinar la viabilidad del sistema de paredes verdes mediante el uso de llantas recicladas en un modelo a escala, a través de la sumatoria de autores y expertos mundiales, que se realizó para elaborar el capítulo de indicadores (variables) y dar así rigor metodológico, científico y teórico; permitiendo que surja a partir del compendio y análisis teórico de diferentes autores y no como un listado subjetivo del autor del presente trabajo, dada la ausencia de una lista de referencia en la bibliografía actual. En consecuencia este listado surge como un aporte adicional del estudio y rigor de este documento y se nutre de diferentes y reconocidos expertos.

Se evidencia que la Llantera presentó ventajas al compararlo con sistemas comerciales en varios indicadores tales como: humedad, impacto ambiental y costo del sistema. La primera ventaja se observó en el indicador de humedad en la pared el cual no se presentó humedad en el sistema con la llantera, además La llanta sirvió de aislante entre el sustrato de la planta y la pared evitando que el agua la humedeciera. Asimismo la llantera presentó mejor desempeño que los otros sistemas en la variable de impacto ambiental debido a que los materiales utilizados para la fabricación de este sistema son 99% reciclables.

Adicionalmente, la Llantera aportó al manejo de la problemática ambiental de los neumáticos encontrándoles un uso pos consumo, que es además ecológico, debido al impacto positivo de las paredes verdes. La Llantera fue el sistema más económico y su ventaja comparativa es alta ya que la materia prima se obtiene de llantas desechadas y su elaboración no requiere de elementos costosos. Frente a los demás sistemas su precio resaltó tal y como se muestra en la Tabla No. 3, siendo esta variable de gran fortaleza para la Llantera.

Las plantas se adaptaron positivamente a la Llantera, sin indicadores de mortalidad ni enfermedad. Debido a la buena tasa de crecimiento se proyectó la durabilidad de las plantas, y en consecuencia la durabilidad del sistema ya que no se requerirán nuevas siembras y el sistema se conservará a largo plazo. Las plantas de este estudio (Helecho, Vinca verde, Panameña y Miami) mostraron un buen comportamiento en esta variable para su uso en jardines verticales exteriores, siendo el helecho el de mejor desempeño durante este estudio.

Los indicadores en los cuales la llantera presentó igual desempeño que los otros sistemas comerciales fueron el mantenimiento y el costo de mantenimiento del sistema. El mantenimiento se diferenciará según el tipo de vegetación que se use, ya que es indispensable escoger plantas que se adapten al clima y las condiciones meteorológicas de cada lugar, decisión que debe aplicarse de igual manera a las llanteras. El mantenimiento se facilita al instalar sistemas de riego automatizados, sin embargo la Llantera no es un sistema que requiera una dedicación mayor ni un mantenimiento más exigente. De igual manera el costo del mantenimiento tampoco presentó diferenciación entre los diferentes sistemas debido a que se realizó el mismo mantenimiento en las plantas. Para optimizar los costos del mantenimiento se puede utilizar agua lluvia para el riego, poner temporizadores para los sistemas de riego y escoger adecuadamente las plantas para permitir que sus necesidades de agua y luz estén satisfechas sin sobre costos económicos, ni ambientales.

Por último el indicador en el que la llantera presentó desempeño inferior fue el peso el cual fue mayor en comparación con los demás sistemas analizados. Sin embargo, según el Ingeniero Estructural Guillermo Toro (Toro, 2015) esto no es un impedimento para su utilización, dado que independientemente de su peso todos los sistemas de jardines verticales de gran escala tienen que ser aprobados por un ingeniero estructural.

El análisis comparativo de los anteriores indicadores, permitió describir los beneficios de la implementación de las llanteras y el crecimiento positivo de las plantas, realizando una detallada descripción del proceso técnico de implementación del sistema., Los indicadores permitieron conocer los beneficios para la implementación y el crecimiento de las plantas. Así mismo el análisis comparativo permitió darle viabilidad al sistema de la Llantera para su uso como producto ecológico empleado para los jardines verticales.

En cuanto al objetivo general es posible concluir que mediante el modelo a escala y el proceso práctico se logró determinar que la llantera es viable en la medida en que permitió el crecimiento de las plantas, y se comportó positivamente con los indicadores analizados. Por ende se otorga una calificación positiva para la llantera como materia, dentro de un modelo a escala de paredes verdes.

El presente trabajo desarrolló tres objetivos específicos, con el primero se lograron identificar los indicadores a través de un compendio de expertos a nivel mundial, que permite dar rigurosidad académica al análisis práctico realizado y nutre el campo de estudio permitiendo que estos indicadores se usen en futuros trabajos que involucren superficies vegetadas. Al existir información dispersa en diferentes expertos y fuentes, parte del aporte de este trabajo consiste en unificar técnicas y recomendaciones para la creación de paredes verdes y facilita

el estudio académico de la viabilidad de la llantera, dejando una base para futuras investigaciones y comparaciones entre diferentes sistemas de paredes vegetadas.

El segundo objetivo específico se logra mediante la observación y la medición en un lapso de doce semanas, período en el cual se detalla y describe de manera vívida para el lector el proceso de implementación, los factores ambientales, el clima y el desarrollo de las plantas. Esto permite que el lector comprenda los beneficios de la llantera, su comportamiento durante el estudio y en conclusión se muestra cómo el presente trabajo hace una descripción detallada del proceso de implementación de la pared vegetada

El tercer objetivo específico se alcanza haciendo uso del proceso de experimentación, ya que se usan diferentes herramientas como pulidoras, cortadoras y sierras para cortar la llanta en el molde que permita formar la llantera. En el proceso técnico de elaboración de la llantera se cortó la llanta finalmente con una pulidora generando su desgaste, por lo cual se pasó a utilizarla solo en el primer borde exterior de la llanta, para después seguir cortando con una segueta o sierra de marquetería. Así se obtuvo el molde y se armó la llantera afirmando las partes con tornillos de tuerca, este molde permitió que de cada llanta se obtuvieran tres llanteras. Describir el proceso experimental ayuda a buscar soluciones y opciones futuras, dando alcance a los objetivos planteados.

En el proceso de investigación se concluye que la llanta es un excelente material para aislar humedad y preservar la calidad y vida de las plantas; es además un desecho abundante siendo en consecuencia una materia prima de menor costo que las existentes para materas de paredes verdes.

A lo largo del presente documento se pudo evidenciar la importancia de crear nuevas soluciones para la reutilización de llantas y para incrementar el uso de productos que

disminuyan los perjuicios causados al medio ambiente. El crecimiento de las ciudades, la agricultura y la demanda de las materias primas han disminuido los bosques y entornos naturales que regulan la temperatura global y que controlan el efecto invernadero. Por lo tanto se hace necesario crear ciudades sostenibles y reutilizar la mayor cantidad de materias primas que sea posible.

Este trabajo permitió desarrollar una investigación organizada como primer paso dentro de un macro proyecto de gerencia de ingeniería, ya que describe los procesos técnicos para realizar la implementación de una pared reciclada y brinda la bibliografía necesaria a quienes desean encontrar información sobre paredes verdes. En este proceso se aprendió que la gerencia de ingeniería puede impactar positivamente a los hogares y a personas que deseen hacer micro y macro proyectos de paredes vegetadas, pero también se mostró como la gerencia de ingeniería facilita la estructuración de un micro proyecto para establecer pautas y técnicas que permitan su industrialización, su masificación e incluso generar toda una idea de empresa y emprendimiento.

Se espera que este trabajo comparativo entre diferentes tipos de sistemas empleados para jardines verticales, sirva como fuente de información relevante y con rigor teórico, confiable (rigurosa) para incentivar tanto el uso de jardines verticales como el de llantas recicladas y aportar a la reducción de la huella de carbono en Colombia.

En consecuencia la llantera es viable como uno mas de los materiales disponibles para crear paredes verdes y es una alternativa a materas plásticas que actualmente se usan, pero que implican consumo de recursos nuevos a diferencia de la llantera que se obtiene por reutilización de materiales en desuso.

En conclusión la Llantera crea una demanda nueva para llantas desechadas, disminuye los costos de las paredes verdes, iguala los beneficios y estándares de otros sistemas de paredes verdes existentes en el mercado, crea una opción de emprendimiento laboral y contribuye a la sostenibilidad de las ciudades en la medida en la que facilita que los jardines verticales se usen cada vez más. Por lo tanto es un producto viable tanto en términos funcionales y ambientales.

9. RECOMENDACIONES

Para futuros estudios se recomienda investigar si el caucho de las llantas utilizado para fabricar la Llantera, produce alguna sustancia química dañina para el ser humano que impida utilizar este material para sembrar plantas comestibles.

Asimismo se recomienda investigar cómo se puede reutilizar una llanta en la impermeabilización de una cubierta verde, para incrementar su uso no solo en paredes verdes sino también en cubiertas verdes. Actualmente existen empresas que fabrican techos reutilizando la llanta y mezclándola con otros materiales.

Se describió el proceso técnico para la creación de un modelo a escala de paredes verdes utilizando la llantera. Así mismo se describieron los pasos para desarrollar una pared verde utilizando una llanta como materia y se analizaron los retos y los requerimientos de cada uno de estos pasos. Basado en este análisis, se determinó que el mayor reto durante el proceso fue el corte de la llanta, sin embargo el proceso técnico facilita el uso de este material para hacer las llanteras. Durante el experimento, una vez superado el reto mencionado anteriormente, fue placentero ver prosperar las plantas y poder concluir que la reutilización de llantas en desuso es una opción viable como material para paredes vegetadas que otorga a las plantas condiciones que permiten su óptimo desarrollo en el presente modelo a escala.

Para mejorar el proceso de producción de la Llantera se recomienda investigar otra forma de industrializar el proceso, para poder reducir los tiempos de fabricación, esto reduciría aún más los costos por metro cuadrado.

Se sugiere analizar otras herramientas como una cizalla industrial para realizar el corte de la llanta. Esta herramienta, es una posibilidad viable de mejora, debido a que evita que se

caliente el caucho con la sierra, facilitando y agilizando el proceso de corte de la llanta. Así mismo se pueden analizar diferentes elementos tales como tornillos o chazos que se puedan reemplazar para reducir los costos en el proceso de producción de la Llantera.

Se pueden realizar experimentos con diferentes tipos de plantas autóctonas de la región, para determinar cuáles cumplen en mayor medida con las variables aquí expuestas. Inclusive se podrían adicionar variables nuevas como por ejemplo la relación entre el tamaño de la materia con la cobertura y estética.

Por otro lado existe maquinaria como troqueles, cortadoras, moldeadoras que mediante presión y fuerza son capaces de cortar las llantas, haciendo que el proceso de producción sea viable a gran escala. La abundancia de la materia prima permite disminuir costos e incluso es un proceso que se puede realizar de manera individual para proyectos privados en los hogares. Para poder implementar masivamente la Llantera será necesario realizar vínculos con grandes montallantas o con la Andi en su programa Rueda Verde, para garantizar la materia prima gratuita y reducir el desplazamientos a diversos botaderos y / o montallantas de pequeños y medianos tamaños. Se recomienda tener en cuenta el peso total de la pared vegetada para implementar un sistema de llantera de mayor tamaño y revisar tecnologías y herramientas que reduzcan el tiempo de corte para un sistema masificado.

La reutilización de llantas en diferentes procesos se ha venido aplicando principalmente para la creación de asfalto, esto es una buena metodología para disminuir los desechos pero en términos ambientales no es suficiente ya que el asfalto contribuye a crear microclimas en las ciudades que de manera global reflejan calor a la atmósfera contribuyendo al efecto invernadero.

Este trabajo presentó alternativas para reutilizar las llantas sin procesos industriales que necesiten mayor gasto de energía ni producción de calor y que aporte a las ciudades para hacerlas sostenibles. Es una idea de reutilización diferente a las existentes en el mundo y que pretende masificar el uso de jardines verticales, al hacerlos más económicos, para generar mayor impacto.

El autor de este documento se concentra en estudiar la viabilidad de la llanta reciclada como materia, a futuro sirve de herramienta de soporte para la construcción de una plan estratégico de negocios, ya que para realizarlo primero es necesario saber si el producto es viable o no. Se recomienda el desarrollo de dicho plan para conocer el análisis financiero a profundidad antes de emprender la implementación en masa (macro) de las llanteras, para tener en cuenta factores financieros, que por su alcance, el presente trabajo no pudo analizar, tales como: impuestos, depreciaciones, costos de aprovisionamiento, costos y gastos de ventas administrativos y provisiones, entre otros.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño. (2015). *Manual de Arquitectura Sostenible y Bioclimática*. (1). Bogotá - Colombia.
- Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, A. (2015a). Manual de Arquitectura Sostenible y Bioclimática. *Manual de Arquitectura Sostenible y Bioclimática*, 1, 33.
- Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, A. (2015b). Manual de Arquitectura Sostenible y Bioclimática. *Manual de Arquitectura Sostenible y Bioclimática*, 34.
- Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, A. (2015c). Manual de Arquitectura Sostenible y Bioclimática. *Manual de Arquitectura Sostenible y Bioclimática*, 1, 13.
- Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, A. (2015d). Manual de Arquitectura Sostenible y Bioclimática. *Manual de Arquitectura Sostenible y Bioclimática*, 1, 18 - 19.
- Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, A. (2015e). Manual de Arquitectura Sostenible y Bioclimática. *Manual de Arquitectura Sostenible y Bioclimática*, 1, 11 - 13.
- Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, A. (2015f). Manual de Arquitectura Sostenible y Bioclimática. *Manual de Arquitectura Sostenible y Bioclimática*, 1, 36.
- Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, A. (2015g). Manual de Construcción Sostenible y Bioclimática. *Manual de Construcción Sostenible y Bioclimática*, 1, 44.
- Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraouli, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*.
- Arquitectura Más Verde Ltda. (2015a). Nosotros - Arquitectura más Verde. Retrieved from <http://www.arquitecturamasverde.com/nosotros.html>
- Arquitectura Más Verde Ltda. (2015b). Proyectos - Arquitectura más Verde. Retrieved from <http://www.arquitecturamasverde.com/proyectos.html>
- Blanc, P. (2012a). *The Vertical Garden*. London: Norton & Company.
- Blanc, P. (2012b). *The Vertical Garden - From Nature to the City*. London: W. W. Norton & Company.
- Blanc, P. (2012c). *The Vertical Garden, From Nature To The City*. London, UK: Norton & Company, Inc.
- Blender, M. (2015). Isla de calor urbana. Retrieved from <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/isla-de-calor-urbana/>
- Carbon Dioxide Information Analysis Center, C. (2014, 12 de mayo de 2015). Global Annual Temperature Anomalies from Land and Ocean Observations, 1880 - 2014. Retrieved from http://cdiac.ornl.gov/trends/temp/hansen/land_ocean_trend.html
- Carroya. (2014). ¿Cuántos kilómetros por año debe recorrer un carro sin que afecte su vida útil? Retrieved from <http://www.carroya.com/noticias/notas-asesor/mecanica/cuantos-kilometros-por-ano-debe-recorrer-un-carro-sin-que-afecte-su-vida-util>
- CCCS, C. C. d. C. S. (2015). Nosotros - Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. Retrieved from <http://www.cccs.org.co/nosotros>
- Cemex Concretos. (2015). Concreto Profesional Llancreto. Retrieved from http://www.cemexmexico.com/concretos/files/fichasTecnicas/FT_Llancreto.pdf
- Coimbra, G. (2009). Las Llantas de Deshecho en la Construcción de Cimientos en Edificaciones de Bajo Porte. *Revista Tecnociencia Universitaria Bolivia* 7, 52-55.
- Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, O. (1987). Nuestro Futuro Común: Informe Brundtland. Retrieved from <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- Consejos. (2015). Manualidades con Llantas. Retrieved from <http://www.1001consejos.com/manualidades-con-llantas/>

- Construdata. (2013). Cubiertas verdes y jardines verticales - Especificaciones técnicas y arquitectónicas. Retrieved from http://www.construdata.com/Bc/Otros/Documentos/especificaciones_tecnicas_y_arquitectonicas.asp?Id_Tarea= IDTAREA &Email=%7B%7BEMAIL%7D%7D
- Constudata. (2013). Techos Verdes y Jardines Verticales. *Trimestral*. Retrieved from http://www.construdata.com/Bc/Otros/Documentos/beneficios_cubiertas_verdes.asp?Id_Tarea= IDTAREA &Email=%7B%7BEMAIL%7D%7D
- Costa, C. M. d. A., Vivienda y Desarrollo Territorial). (2010). *Resolución No. 1457 de 2010*. Colombia Retrieved from https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Programa_posconsumo_existente/RESOLUCION_1457_de_2010_llantas.pdf.
- DANE. (2010). Proyecciones de población total por años y sexo, según departamentos Periodo 2005-2020. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/conciliacenso/7_Proyecciones_poblacion.pdf
- De Garrido, L. (2011). *Sustainable Architecture, Green in Green* (B. Traducciones, Trans.). Barcelona: Instituto Monsa de Ediciones.
- De Garrido, L. (2011a). *Sustainable Architecture*. Barcelona: Instituto Monsa De Ediciones.
- De Garrido, L. (2011b). *Sustainable Architecture Green in Green*. Barcelona: Instituto Monsa de Ediciones.
- De Garrido, L. (2011c). *Sustainable Architecture, green in green*. Barcelona: Instituto Monsa de Ediciones.
- Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2008). *Planting Green Roofs and Living Walls* (3 ed.). London: Timberpress.
- Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2013a). *Planting Green Roofs And Living Walls*. London: Timber Press, inc.
- Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2013b). *Planting Green Roofs And Living Walls*. London, UK: Timber Press.
- Ley 152 de 1994, (1994).
- GRONCOL. (2015). GRONCOL. Retrieved from <http://www.groncol.com/albums>
- Grupo del Banco Mundial. (2011). Emisiones de CO2 (kt). Retrieved from http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT/countries?order=wbapi_data_value_2011_wbapi_data_value_wbapi_data_value-first&sort=asc&display=default
- Grupo del Banco Mundial. (2014). Población Total. Retrieved from http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL/countries/1W?order=wbapi_data_value_2014_wbapi_data_value_wbapi_data_value-last&sort=desc&display=default
- Herrera, N. (2015) *Entrevista Groncol/Interviewer: J. Corredor*.
- IDEAM. (2015). VARIABILIDAD DIARIA DE LA TEMPERATURA. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/variabilidad-diar-temperatura>
- Infojardin. (2015a). Hiedra de Persia, Hiedra persa, *Hedera colchica*. Retrieved from <http://fichas.infojardin.com/trepadoras/hedera-colchica-hiedra-de-persia-hiedra-persa.htm>
- Infojardin. (2015b). Hierba doncella, Vincapervinca, *Vinca major*. Retrieved from <http://fichas.infojardin.com/perennes-anuales/vinca-major-hierba-doncella-vincapervinca.htm>
- Infojardin. (2015c). Nefrolepis, Helecho espada, Helecho rizado - *Nephrolepis exaltata*. Retrieved from <http://articulos.infojardin.com/plantas/helecho-espada-nephrolepis.htm>
- Infojardin. (2015d). Zebrina pendula, Pamplinas, Panameña, *Tradescantia zebrina*. Retrieved from <http://articulos.infojardin.com/plantas/tradescantia-zebrina-pendula.htm>

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). What is the Greenhouse Effect? Retrieved from http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html
- International Green Roof Association, I. (2009). *Green Roofs - Bringing Nature Back to Town* (R. Appl & W. Ansel Eds. 1 ed. Vol. 1). Berlin - Alemania: International Green Roof Association.
- IPCC. (2007). The Greenhouse Effect. In *F. A. i. m. o. t. n. g. e. FAQ 1.3* (Ed.).
- Jim, C. Y. (2015). Greenwall classification and critical design-management assessments. *Ecological Engineering*, 77, 348-362.
- Li, D., Bou, Z., & Elie. (2013). Synergistic interactions between urban heat islands and heat waves: The impact in cities is larger than the sum of its parts. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(9)(2051-2064).
- Manteltex, L. e. S. T. (2015). A cerca de nuestra compañía - Manteltex. Retrieved from <http://www.manteltex.com/a-cerca-de-nuestra-compania/>
- Martinez, J. (2014). Proliferan tiraderos de llantas. Retrieved from <http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/proliferan-tiraderos-de-llantas-1401245015>
- Michelin. (2010). El mundo es pequeño para Michelin. Retrieved from <http://www.michelin.com.ec/todo-sobre-autos/mas-info/Michelin-la-llanta-que-dura-dura-y-dura.html>
- Ministerio de Ambiente, V. y. D. T., Carlos Costa - Ministro. (2010). *Resolución No. 1457 de 2010*. Colombia Retrieved from https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Programa_posconsumo_existente/RESOLUCION_1457_de_2010_llantas.pdf.
- Ministerio de la Protección Social, M. (2007). Decreto 1575 de 2007. Retrieved from <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecusoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de2007.pdf>
- Muñoz, L. M., & Torres, R. D. (2013). Las fachadas verdes como herramienta pasiva de ahorro energético en el bloque administrativo de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería. *dearq. 13 Revista de Arquitectura de la Universidad de los Andes*, 140 - 149.
- Naciones Unidas. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Retrieved from https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf
- Naciones Unidas. (2013). Objetivo de Desarrollo del Milenio - Informe de 2013. Retrieved from <http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/mdg-report-2013-spanish.pdf>
- National Oceanic & Atmospheric Administration, N. (2015). NOAA's Annual Greenhouse Gas Index. In *T. N. A. G. G. Index* (Ed.).
- National Oceanic and Atmospheric Administration, N. (2016). Climate at a Glance - Time Series. Retrieved from http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global/globe/land_ocean/1/7/1990-2016?trend=true&trend_base=10&firsttrendyear=1990&lasttrendyear=2016
- National Ready Mixed Concrete Association, N. (2013). Humedad de la losa de concreto, ¿Como se mide la humedad de la losa de concreto? Retrieved from <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/cip28es.pdf>
- Ochoa, R. (2008). Reciclaje de llantas usadas en Santa Catarina. *Revista Reciclaje*, 23-27.
- Olgay, V. (2004). *Arquitectura y Clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas* (2 ed. Vol. 1). Barcelona - España: Gustavo Gili.
- Organización Panamericana de la Salud, O. (2015). Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/faq.html> - diecinueve
- Paz, J. F. (2015). *Policultivo de Plantas Medicinales / Aromaticas Implementado en Maceteros Diseñados a Partir de Llantas Recicladas*. (Maestria en Agroecología Tropical Andina),

- Universidad Politecnica Salesiana, Quito, Ecuador. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9519/1/UPS-QT06968.pdf>
- Perico, D. (2014). SUMINISTRO E INSTALACIÓN JARDINES VERTICALES. In A. m. V. Ltda. (Ed.), (pp. 4). Real Academia Española. (Ed.) (1982) Real Academia Española, Diccionario de la Lengua Española (19 ed., Vols. 3). España: Real Academia Española.
- Recive, R. C. d. I. V. (2015). Red Colombiana de Infraestructura Vegetada - Recive
Retrieved from <http://recive.org/nosotros/>
- Rueda Verde. (2015). Ayudamos a Transformarlas para un Mejor Futuro. Retrieved from <http://www.ruedaverde.com.co/web/>
- Ruedy, R., Sato, M., & Lo, K. (2014). Global Annual Temperature Anomalies from Land and Ocean Observations, 1880-2014. *NASA GISS Surface Temperature (GISTEMP) Analysis*. Retrieved from http://cdiac.ornl.gov/trends/temp/hansen/land_ocean_trend.html
- Schiller, S., Evans, J. M., & Katzschner, L. (2001). *Isla de Calor, Microclima Urbano y Variables de Diseño - Estudios en Buenos Aires y Rio Gallegos*. Retrieved from Argentina: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2001/2001-t001-a009.pdf>
- Schuster, J. (2015). Focus on Plant Problems. Retrieved from <http://extension.illinois.edu/focus/index.cfm?problem=chlorosis>
- Secretaria General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2009). *Proyecto de Acuerdo No. 386 de 2009*. Anales del Consejo: Consejo de Bogotá D.C. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37533>.
- Sela, I., & García, R. (2015) *Red Colombiana de Infraestructura Vegetada - RECIVE/Interviewer: J. Corredor*.
- Solano Cabello, I. (2015). El muro verde: bioconstrucción para mejorar nuestro entorno. Retrieved from <http://www.paisajismourbano.com/muro-verde.html>
- Sonalo, I. (2015). El muro verde: bioconstrucción para mejorar nuestro entorno. Retrieved from <http://www.paisajismourbano.com/muro-verde.html>
- Spengler, J. D., Yamaguchi, A., MacNaughton, P., Vallarino, J., & Santanam, S. (2015, 26 de octubre de 2015). Green office environments linked with higher cognitive function scores. Retrieved from http://www.hsph.harvard.edu/news/press-releases/green-office-environments-linked-with-higher-cognitive-function-scores/?utm_source=Twitter&utm_medium=Social&utm_campaign=Chan-Twitter-General
- The Carbon Dioxide Information Analysis Center, C. (2015). The Carbon Dioxide Information Analysis Center. Retrieved from <http://cdiac.ornl.gov>
- The Intergovernmental Panel On Climate Change, I. (2015). *Climate Change 2014 - Synthesis Report*. In T. I. P. o. C. Change (Series Ed.) (pp. 168). Retrieved from http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf
- Tong, J. (2013). *Living Wall, Jungle The Concrete*. Hong Kong: Design Media Publishing Ltd.
- Toro, G. (2015) *Entrevista Ingeniero Estructural/Interviewer: J. Corredor*.
- Torres, H. (2014). *Valoración de Propiedades Mecánicas y de Durabilidad de Concreto Adicionado con Residuos de Llantas de Caucho*. (Maestría), Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá - Colombia.
- Union Temporal OCADE Ltda, C., SANIPLAN, B., & AMBIENTAL S.A., A. (2011). Retrieved from <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/Llantas.pdf>
- Valadares, F., Bravo, M., & de Brito, J. (2012). Concrete with Used Tire Rubber Aggregates: Mechanical Performance. *ACI Materials Journal*, V. 109, N.03, 283-292.
- Verdugo, M. (2015) *Entrevista Vivero Santa Clara - Chia/Interviewer: J. Corredor*.
- Vertin. (2015). Materas Bogota y Colombia - Has tus Propios Jardines Verticales. Retrieved from <http://www.vertinvertical.com/Materas-Hazlo-Tu-Mismo.php>
- Warburton, E. (Writer). (2009). How to Build a Greenwall [Youtube]. Australia.

- World Wildlife Fund for Nature, W. (2014). El Planeta entra hoy en números rojos: ya hemos consumido nuestro capital natural para el 2014. Retrieved from <http://www.wwf.es/?30400/El-Planeta-entra-hoy-en-nmeros-rojos--ya-hemos-consumido-nuestro-capital-natural-para-2014>
- Ziadat, A. H., & Sood, E. (2014). An Environmental Impact Assessment of the Open Burning of Scrap Tires. *Journal of Applied Sciences*, 14.21(2695-2703).