

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE CUBIERTAS VERDES CON PLANTAS LOCALES
EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR - CESAR**

**ANDY JULIETH MUÑOZ PÁEZ
IVÁN EDUARDO ORTIZ RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR - CESAR**

2019

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE CUBIERTAS VERDES CON PLANTAS LOCALES
EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR - CESAR**

**ANDY JULIETH MUÑOZ PÁEZ
IVÁN EDUARDO ORTIZ RODRIGUEZ**

**Proyecto presentado para optar el título de Ingeniero Ambiental y
Sanitario**

**WALNER ENRIQUE LÓPEZ MENA
Director. Ing.**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR - CESAR
2019**

Nota de Aceptación

Director (a)

Jurado

Jurado

Valledupar Cesar (15, 07, 2019)

*Esta tesis va dedicada a Dios,
a nuestros padres por su amor
incondicional, esfuerzo y
apoyo constante durante
todos estos años y a nuestro
profesores que han sido parte
de este proceso.*

AGRADECIMIENTOS

... A Dios, por habernos brindado la salud y sabiduría para tomar decisiones en nuestras vidas y sacar adelante este proyecto.

... A nuestras familias, por por brindarnos su apoyo incondicional y creer en nosotros, por enseñarnos que con trabajo , esfuerzos y constancia todo se consigue.

... A nuestro director el Ingeniero Walner López Mena, por compartirnos su tiempo, conocimiento y haber brindado su ayuda incondicional para poder realizar este proyecto.

... A la Señora Eliana Candanoza, esposa de nuestro director, que sin conocernos, no dudo en ayudarnos a obtener la colaboración de empresa para poder ejecutar nuestro proyecto.

... A la Empresa HOMECENTER SODIMAC CORONA y CONSTRUCTOR SODIMAC CORONA por habernos apoyado en esta investigación, donando materiales para su ejecución.

... A la señora Sandra Galindo y el Señor Jesús Villalba, propietarios del vivero Villa del Rio, por brindarnos un espacio para poder llevar a cabo actividades en su vivero.

... A nuestros evaluadores el Ingeniero Santander y el Ingeniero Héctor Segura, por cada una de sus opiniones, correcciones y orientaciones para con esta tesis.

... A nuestros amigos Pablo Tapias, Carlos Mora, Rafael Sarabia y Heiner Arévalo, por compartirnos sus conocimientos y asesorarnos en este proyecto.

... A Mauricio Forero y Angie Díaz, por haber sido un apoyo en distintas fases en la elaboración de nuestra investigación.

... A todos nuestros amigos y compañeros de profesión que han sido parte de nuestra vida y nos ayudaron durante la carrera.

... Y en general, a todas y cada una de las personas que, de alguna u otra forma, nos aconsejaron, orientaron, ayudaron y que no hemos citado expresamente en estos agradecimientos.

ANDY MUÑOZ PÁEZ E IVÁN ORTÍZ RODRÍGUEZ

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVOS GENERAL	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4. MARCO REFERENCIAL	18
4.1 ANTECEDENTES	18
4.1.1 Di Costa, G. et al. (2013). Terrazas Verdes. Beneficios económicos, ambientales y sociales	18
4.1.2 Yeomans, F. Almada, D. y Martínez R. (2013). Evaluación de los efectos de techo verde en el nivel de confort térmico en vivienda de interés social. ..	18
4.1.3 De Pombo J. y González, D. (2016). Evaluación del efecto térmico y captación de escorrentía producida por una planta piloto de techo verde	19
4.1.4 De Rhodes, M. (2012). Implementación de un modelo de techo verde y su beneficio térmico en un hogar de Honda, Tolima (Colombia).	19
4.1.5 Valbuena, S. y Tibasosa, A. (2016). Estudio de pre-factibilidad técnica, ambiental y económica para la implementación de terrazas verdes en el centro empresarial La Castellana de Bogotá	20
4.1.6 Forero C. (2011). Ecotechos productivos para mejorar condiciones de habitabilidad y del cambio climático	21
4.2 MARCO TEÓRICO	22
4.3 MARCO CONTEXTUAL	37
4.3.1 Ubicación	37
4.3.2 Clima	38
4.4 MARCO CONCEPTUAL	40
4.5. MARCOL LEGAL	43
5. HIPÓTESIS	45
6. METODOLOGÍA	46
6.1. TIPO DE ESTUDIO	46
6.2. EXPERIMENTACIÓN	46
6.2.1. Fase I: Selección de las plantas locales para la cubierta verde	46

6.2.2. Fase II: Determinación del sustrato y selección del espesor apropiado para el desarrollo de la planta.....	48
6.2.3. Fase III: Adaptación de las plantas al sustrato.....	49
6.2.4. Fase IV: Diseño y construcción de la estructura	49
6.2.5. Fase V: Evaluación de la cubierta verde y el efecto de aislamiento térmico de los sistemas	50
7. ANALISIS DE RESULTADOS.....	52
7.1 SELECCIÓN DE LOS PLANTAS PARA LA CUBIERTA VERDE	53
7.1.1 Determinación de los criterios fundamentales	53
7.1.2 Selección de las plantas	55
7.2 DETERMINACIÓN DEL SUSTRATO Y SELECCIÓN DEL ESPESOR APROPIADO PARA EL DESARROLLO DE LA PLANTA	57
7.3 ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS AL SUSTRATO	61
7.4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA	62
7.5 EVALUACIÓN DE LA CUBIERTA VERDE Y EL EFECTO DE AISLAMIENTO TÉRMICO DE LOS SISTEMAS.....	63
CONCLUSIÓN	71
RECOMENDACIONES	73
PRESUPUESTO.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
ANEXOS.....	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones del suelo de sustrato para techos verdes extensivo	32
Tabla 2. Criterios de selección	47
Tabla 3. Plantas preseleccionadas	47
Tabla 4. Análisis de la encuesta selección de criterios	53
Tabla 5. Criterios de mayor peso.....	54
Tabla 6. Análisis de la encuesta selección de plantas	55
Tabla 7. Plantas con mayor peso.....	56
Tabla 8. Porcentaje Muestras de Abonos	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cubierta verde intensivas.	23
Figura 2. Cubierta verde semi-intensiva.....	24
Figura 3. Cubiertas verde extensiva	25
Figura 4. Componentes de una cubierta verde	30
Figura 5. Elementos usados como capa drenante	33
Figura 6. Ubicación geográfica del municipio de Valledupar (Cesar).....	37
Figura 7. Abonos orgánicos comerciales y de bajo costo en la región.....	48
Figura 8. Método de cultivo reproducción por esquejes o trasplante.....	49
Figura 9. Estructura de soporte para la cubierta verde	50
Figura 10. Secciones de la cubierta de una vivienda.....	51
Figura 11. Termómetros en estación de meteorológica.	51
Figura 12. Muestras de Abonos	58
Figura 13. Plantas de Diez del Día y Pasto en las muestras de abono luego de siete (7) días.	58
Figura 14. Plantas de Diez del Día y Pasto en las muestras de abono luego de quince (15) días.	59
Figura 15. Peso de la cubierta verde en estado seco	60
Figura 16. Peso de la cubierta verde en estado de saturación	60
Figura 17. Adaptación de las plantas en condiciones de invernadero.	61
Figura 18. Adaptación de las plantas en condiciones de intemperie.....	61
Figura 19. Estructura de soporte para la cubierta verde	62
Figura 20. Secciones de la cubierta de una vivienda.....	63
Figura 21. Termómetros en estación de meteorológica.	64
Figura 22. Evaluación de cubierta verde utilizando Diez Del Día. (a) Primer día. (b) Quinto día. (c) Decimo día. (d) Día Quince	65
Figura 23. Evaluación de cubierta verde utilizando Pasto. (a) Primer día. (b) Quinto día. (c) Decimo día. (d) Día Quince.....	66

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Comparativo de temperatura ambiente promedio en Valledupar julio 11 al 30 de julio 2018	67
Gráfica 2. Comparativo de temperatura promedio implementando cubiertas verdes julio 11 al 30 de julio 2018	69

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Encuesta de determinación de los criterios de selección.....	80
Anexo 2. Análisis de la encuesta selección de criterios	81
Anexo 3. Encuesta selección de plantas.....	82
Anexo 4. Análisis de la encuesta selección de plantas	83
Anexo 5. Proceso de construcción de los modelos de cubierta verde	84
Anexo 6. Proceso constructivo del prototipo de una casa.....	85
Anexo 7. Cotización de cubierta verdes extensiva en ECOURBANO para la Universidad Nacional de Colombia sede Valledupar	86

INTRODUCCIÓN

Una cubierta verde o ecológica es el techo de una edificación que está parcial o totalmente cubierto de vegetación, ya sea en suelo o en un medio de cultivo apropiado (Dearkitectura, 2014). La incorporación de cubiertas verdes en las ciudades es una solución óptima como medida de sostenibilidad aplicada a la nueva construcción o rehabilitación, porque aporta ventajas económicas y ecológicas, a la vez que se mejora el balance energético de los edificios (EcoHabitar,2016).

En Colombia se han implementado sistemas de cubiertas verdes por ejemplo en la ciudad de Bogotá a nivel comercial los arquitectos Andrés Ibáñez y Miguel Cárdenas, de la Universidad Nacional trabajaron en el diseño de cubiertas vegetales para 3000 m² en una serie de edificios y bodegas que se construyeron sobre el eje de la calle 26, cerca al aeropuerto El Dorado. Así mismo, existen empresas dedicadas a la instalación como Ecourbano y Vertín; especialistas en cubiertas extensivas, sin embargo los costos son elevados, requieren de constante mantenimiento y la mayoría se limita a superficies horizontales como azoteas.

Con este proyecto se espera implementar una cubierta ecológica económica, de mantenimiento mínimo, de fácil construcción y adecuado a cualquier tipo de infraestructura, para cumplir con estos propósitos se iniciará con una investigación sobre todo lo relacionado a cubiertas verdes, plantas idóneas para este tipo de uso y materiales de bajo costo, accesibles en el mercado; luego, se procederá al diseño estructural e implementación de la cubierta y por último se realizará un análisis evaluando los beneficios.

Este proyecto tiene como finalidad implementar cubiertas verdes con plantas locales, teniendo en cuenta como factores determinantes de la vegetación la adaptación a las condiciones climáticas, ciclo de vida extenso y alta resistencia a

plagas, de tal forma que requieran poco mantenimiento. Igualmente, del sustrato se requiere que sea liviano, permita el enraizamiento de la vegetación y un drenaje adecuado; además, la estructura de soporte para la cubierta debe ser sencilla, ligera y económica, de modo que no necesite acondicionamiento de la infraestructura existente, pero que en conjunto se garantice los beneficios de aislamiento térmico.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aumento desmesurado de la población y las actividades industriales, han permitido el crecimiento urbanístico en la mayoría de las ciudades de países desarrollados y en desarrollo, pero este crecimiento representa fuertes impactos en el medio ambiente y en la calidad de vida de las personas.

La alteración más notoria es el calentamiento global, fenómeno que ha afectado a varias regiones del mundo y Colombia según informes del Ideam, siendo la capital del Cesar la ciudad que ha llegado a registrar los valores más elevados de temperatura, de 39,8 °C, por lo que se ha catalogado a Valledupar como “la ciudad más caliente del país”. (Velázquez, R. 2013). Este incremento progresivo de la temperatura media, no solo se debe al calentamiento global, sino que obedece también, al fenómeno de “isla de calor”, que es el aumento de la temperatura de la atmosfera urbana en comparación con las áreas rurales, debido a la acumulación de materiales absorbentes de calor y de baja reflexión de radiación solar como el hormigón que ha desplazado y reducido las superficies verdes ocasionando también alteraciones en los sistemas de drenaje naturales e incrementos de las concentraciones de CO₂ y material particulado, todos estos impactos son el resultado de la expansión urbana, en ciudades con un crecimiento dinamizado como la capital del Cesar, ya que “Valledupar presenta uno de los índices más elevados de construcción en el país, con un promedio de edificación de 10 veces por lote y es la ciudad que más ha licenciado áreas de construcción”. (Barrios, M. 2014).

Para mitigar los efectos del incremento de temperatura, muchas ciudades de países como Alemania, Francia, Suiza, Canadá y China, han adoptado políticas ecológicas encaminadas a un desarrollo sostenible entre las cuales se destaca el uso de las tecnologías de cubiertas verdes, ya que proporcionan aislamiento térmico, minimizando el consumo de energía ocasionado por el uso de sistema de ventilación en las edificaciones; reducen CO₂; filtran las partículas de polvo y suciedad del aire; absorben la lluvia, por lo que alivian los sistemas de alcantarillado y mejoran la calidad ambiental del entorno.

2. JUSTIFICACIÓN

Se piensa que las ciudades son grises, inundadas de construcciones de cemento, sin casi vegetación, con “smog” o contaminación atmosférica, etc. (Adams, P. 2004). Siendo así, las cubiertas verdes se han constituido como una solución idónea para recuperar los espacios verdes que continuamente han sido reducidos debido al crecimiento de la población y sus necesidades de vivienda, infraestructura social y aumento de las actividades económicas que han ocasionado un detrimento al medio ambiente.

En la ciudad de Valledupar, la implementación de cubiertas verdes se hace necesaria, debido a que presenta uno de los mayores índices de construcción y su temperatura promedio es una de las más elevadas del país. Las cubiertas verdes proporcionarían beneficios como:

- Reducción del efecto de calentamiento de Isla Urbana, ya que las superficies oscuras retienen el calor y las claras reflejan la luz del sol aumentando la temperatura, en cambio una Cubierta Verde enfría naturalmente el ambiente circundante a través de los ciclos de evaporación.
- Disminución del consumo de energía, ya que contribuyen a ahorrar energía al ser un buen aislante del calor, atenuando la necesidad de enfriar los edificios mediante sistemas de enfriamiento.
- Absorción de gases de efecto invernadero y otros contaminantes por parte de la vegetación de las cubiertas, mejorando por tanto la calidad del aire en la ciudad.
- Absorción del agua de lluvia y regulación de las escorrentías por la vegetación y demás capas de la Cubierta Verde, logrado un alivio en los sistemas de drenaje de las ciudades.
- Los techos verdes contribuyen preservar la biodiversidad en áreas urbanas.

Sumado a estos beneficios, las cubiertas verdes ayudarían a cumplir las metas del programa 1: Valledupar Ciudad Verde, Amable e Incluyente, del Plan de Desarrollo Municipal actual. (Ramírez, A. et al, 2016).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GENERAL

Evaluar las plantas locales y la estructura de soporte diseñada para su implementación en cubiertas verdes en la ciudad de Valledupar - Cesar.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar las plantas locales que reúnen las características necesarias para ser implementada en la cubierta verde.

- Determinar el sustrato y el espesor apropiado para el desarrollo de la planta.

- Construir un prototipo de soporte para la cubierta verde de acuerdo con los aspectos estructurales, económicos y de fácil construcción.

- Medir la capacidad de aislamiento térmico al interior de la edificación de las plantas seleccionadas para la cubierta verde.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES

4.1.1 Di Costa, G. et al. (2013). TERRAZAS VERDES. BENEFICIOS ECONÓMICOS, AMBIENTALES Y SOCIALES. “Plantearon el problema climático que hay en la actualidad, mostrando cifras de la subida de temperatura que ha habido a lo largo del siglo en ciudades como Tokio, en donde ha subido la temperatura 2,8 °C, lo cual es cinco veces más de lo que ha aumentado la temperatura promedio de Japón, que es un 0,5 °C a lo largo del siglo. Luego de ver estas cifras, se explica lo que es el efecto de las islas de calor y cómo los techos verdes pueden combatirlo. También se hace una explicación sobre las inundaciones en la ciudad de Buenos Aires y cómo los techos verdes han demostrado ser grandes aliados en el retraso del tiempo de escurrimiento de las precipitaciones. Se ven también las mejoras económicas a largo plazo al instalar techos verdes y cómo estos mejoran, a su vez, la calidad de vida y el bienestar urbano”.

4.1.2 Yeomans, F. Almada, D. y Martínez R. (2013). EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE TECHO VERDE EN EL NIVEL DE CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL. “Se llevó a cabo un estudio para evaluar el efecto del techo verde en 4 viviendas de interés social, ubicadas en la región bioclimática número dos de la República Mexicana (CONAVI, 2008). El estudio se realizó incluyendo los meses de mayor calor, en el municipio El Carmen N.L. de Agosto a Octubre del 2011, evaluando por medio de sensores, la temperatura cada 5 minutos en muros y losa. De las 4 viviendas seleccionadas, dos fueron con techo verde una de un nivel y otra de dos niveles y se comparó con otras dos viviendas con las mismas características pero sin techo verde. Los resultados muestran que las viviendas con techo verde en azotea presentan una disminución de 10 ° C en promedio con respecto a las viviendas sin techo verde”.

4.1.3 De Pombo J. y González, D. (2016). EVALUACIÓN DEL EFECTO TÉRMICO Y CAPTACIÓN DE ESCORRENTÍA PRODUCIDA POR UNA PLANTA PILOTO DE TECHO VERDE. “Este estudio fue desarrollado con el fin de evaluar el efecto térmico al interior de una edificación y de volúmenes de escorrentía en Cartagena de Indias por medio de estudios a escala piloto, a través de la identificación y selección de especies nativas aptas para ser integradas al sistema y el análisis de parámetros hidráulicos y térmicos de tres plantas piloto de 1 m² cada una, ubicadas en la azotea del edificio de laboratorios del Campus Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena, y correspondientes a dos de Techo Verde, conformadas por vegetación de Duranta (*Duranta Golden*) y Verdolaga (*Portulaca Oleracea*) y una cubierta de concreto convencional. Con base en los análisis de cada uno de los parámetros a escala piloto se concluyó que la disminución de temperatura ambiente bajo los Techos Verdes conformados por Verdolaga fue 1.64 °C menor a la del ambiente y 3.14 °C a la cubierta de concreto y de Duranta 1.69 °C y 3.20 °C, sin embargo, no fue posible determinar la retención y disminución de escorrentía generados por el sistema debido a las condiciones de sequía influenciadas por el Fenómeno del Niño, aunque se obtuvieron datos parciales de su capacidad de retención, que permite determinar que puede ser superior a 20 mm de precipitación. De acuerdo con los datos obtenidos, los Techos Verdes son una opción viable para la disminución del consumo de energía eléctrica al interior de edificaciones y aunque no fue determinado completamente su efecto sobre los volúmenes de escorrentía, exhibieron mayor tasa de retención que las cubiertas de concreto”.

4.1.4 De Rhodes, M. (2012). IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE TECHO VERDE Y SU BENEFICIO TÉRMICO EN UN HOGAR DE HONDA, TOLIMA (COLOMBIA). “El procedimiento seguido fue diseñar e implementar un techo verde de tipo indirecto semiextensivo, con material biodegradable, asequible y resistente para desarrollar en una zona de clima cálido; se escogió la guadua como material y el área de estudio en Honda (Tolima). Se evaluó el trabajo considerando

las variables de temperatura dentro de la casa (ambiente) y en el techo (superficial). Se encontró una atenuación térmica de la temperatura promedio del ambiente de 0,52 °C en la zona con techo verde en comparación con la que no tenía techo verde. Pero en algunas horas se encontró una disminución de 0,94 °C, estadísticamente no hubo diferencia significativa pero casi un grado puede afectar e influir en la vida, comportamiento de microorganismos y organismos, en los procesos biogeoquímicos, etc. Con respecto a la temperatura superficial del techo de la zona con y sin techo verde hubo una diferencia. Se encontró una atenuación de temperatura superficial promedio 5,82 °C en el techo verde y en algunas horas del 12,29 °C. Se concluyó que un techo verde atenúa la temperatura de un hogar en una zona de tierra caliente, pero esa atenuación y sus beneficios dependen del área (tamaño) que se implemente y otros factores como los materiales, el espesor del sustrato y el riego”.

4.1.5 Valbuena, S. y Tibasosa, A. (2016). ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD TÉCNICA, AMBIENTAL Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TERRAZAS VERDES EN EL CENTRO EMPRESARIAL LA CASTELLANA DE BOGOTÁ. “Realizaron un estudio técnico para determinar qué tipo de techo verde se ajustaba mejor a las características del edificio y analizaron el costo – beneficio para la construcción de terraza verdes seleccionada. Se pudo concluir que el edificio Centro Empresarial La Castellana cumple con los requisitos necesarios para construir una terraza verde, debido a que tiene las condiciones arquitectónicas y estructurales óptimas para soportar el tipo de terraza verde seleccionada, las terrazas verdes tienen un costo de inversión superior al de las terrazas tradicionales, sin embargo, a través del estudio económico se pudo evidenciar que los beneficios directos e indirectos de este proyecto justifican su costo de inversión, y los indicadores económicos demostraron que el proyecto es rentable y el tiempo de retorno de la inversión es de 3 años”.

4.1.6 Forero C. (2011). ECOTECHOS PRODUCTIVOS PARA MEJORAR CONDICIONES DE HABITABILIDAD Y DEL CAMBIO CLIMÁTICO. “Estudio y comparo la atenuación térmica y la captura de CO₂ en viviendas de interés prioritario ubicadas en Altos de Cazucá, en el que se utilizaron cultivos de hortalizas como ecotechos. El diseño experimental requirió desarrollos tecnológicos como un sistema de riego que optimiza el agua de precipitación y contenedores independientes para el sustrato y las plantas. Los cultivos estaban divididos en: lechuga y rábano; cebolla larga, cilantro y lechuga, y espinaca y perejil. Se estudió también una vivienda testigo sin ecotecho. Los resultados fue una atenuación térmica del techo (4 °C) y del ambiente (3 °C), un aumento de la humedad relativa del 10% y un total de CO₂ capturado de 16,1 kg, 38,6 kg y 8,3 kg, anualmente”.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 ECOTECNOLOGÍAS

Se estima que los edificios a nivel mundial consumen en promedio el 60% del total de la energía, y son responsables del 40% de las emisiones de CO₂, 30% de los desperdicios sólidos y 20% del agua contaminada. (Schneider Electric México).

Las ecotecnologías utilizan los avances de la tecnología para satisfacer las necesidades humanas, minimizando el impacto ambiental. En comparación con una casa común y corriente, una vivienda verde (con ecotecnologías) usa menos energía, agua y recursos naturales, crea menos desechos y es más saludable para las personas que vive en ella. Entre las ecotecnologías que se han desarrollado encontramos paneles solares, aerogeneradores, calentadores solares, focos fluorescentes, cubiertas verdes, etc. (Cintli Moreno, 2013).

4.2.1.1 CUBIERTAS VERDES

Las cubiertas ecológicas, cubiertas verdes o techos verdes –por su término en inglés difundido: green roof – son un sistema de techo multicapa que permite la propagación de la vegetación en una superficie expuesta y al mismo tiempo garantiza la integridad de las capas inferiores y la estructura de cubierta del edificio. Estos techos proporcionan un conjunto de funciones adicionales a las de un techo convencional y se diseñan y construyen con parámetros técnicos relativamente sencillos sin necesidad de utilizar tecnologías costosas o altamente especializadas. (Ibáñez R, 2008).

4.2.1.1.1 LOS TIPOS DE CUBIERTAS VERDES

Existen diferentes sistemas de naturación en cubiertas; sin embargo, los más comunes se pueden clasificar en tres tipos:

4.2.1.1.1.1 Intensivas

Se consideran como jardines convencionales; son accesibles y tienen sustratos espesos que alojan una variedad de plantas, desde comestibles y arbustos, hasta árboles (Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2009). Las cubiertas intensivas requieren que la capa del sustrato sea mayor de 30 cm, lo que aumenta el peso del sistema. Además, el costo de instalación y el mantenimiento son elevados ya que se requiere riego, fertilización y poda constante. Se procura que este tipo de sistema se realice en construcciones nuevas, ya que es necesario un cálculo estructural detallado debido a que el peso del sistema es superior a los 250 kg/m², hasta los 400 Kg/m² (López, 2010).



Figura 1. Cubierta verde intensivas.

Fuente: Zinco, (2016).

4.2.1.1.2 Semi-intensivas

Estos sistemas se consideran intermedios, debido a que el espesor del sustrato oscila entre los 12 y 30 cm., lo que disminuye la selección de especies vegetales en comparación con el sistema intensivo, aunque brinda más posibilidades que el sistema extensivo. Requieren mantenimiento regular. El peso aproximado del sistema es entre 120 y 250 kg/m². (García, 2010).



Figura 2. Cubierta verde semi-intensiva.

Fuente: Zinco, (2016).

4.2.1.1.3 Extensivas

Estos sistemas son de bajo mantenimiento y generalmente se instalan en lugares inaccesibles. A menudo se plantan en ellas especies con poco requerimiento de humedad, con solo 5 a 15 cm de sustrato y suelen subsistir con agua de lluvia. La vegetación es de bajo porte, usando generalmente especies endémicas o adaptadas a las condiciones ambientales. Por ello su mantenimiento es mínimo. El peso aproximado del sistema oscila entre 60 y 140 kg/m² (Stovin et al., 2007). Así, esta clase de cubierta verde es la más apta para ser utilizada en construcciones

existentes, ya que se necesitan mínimos refuerzos en la estructura para soportar el peso adicional.



Figura 3. Cubiertas verde extensiva.

Fuente: Zinco, (2016).

4.2.1.1.2 BENEFICIOS DE LAS CUBIERTAS VERDES (Gernot, M. 2004)

4.2.1.1.2.1 Reducción de las superficies pavimentadas

Debido al excesivo incremento de las superficies selladas, surgen en las zonas de aglomeración urbana, influencias negativas en el agua domiciliaria, la calidad del aire y el microclima. El mal clima en las grandes ciudades podría mejorarse esencialmente a través de un aumento de superficies verdes, fundamentalmente enjardinando edificios y reduciendo las superficies pavimentadas. Enjardinados de 10 a 20 cm de altura de vegetación sobre aproximadamente 15 cm de sustrato equivalen de 5 a 10 veces más superficie de hojas que la misma área en un parque abierto.

4.2.1.1.2.2 Producción de oxígeno, consumo de dióxido de carbono

La vegetación de las cubiertas verdes toma, como todas las plantas, CO_2 del aire y libera oxígeno. Esto sucede en el proceso de fotosíntesis, en el que 6 moléculas de CO_2 y 6 moléculas de H_2O , mediante un consumo de energía de 2,83 kJ, producen 1 molécula de $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (glucosa) y 6 moléculas de O_2 . En el proceso de la respiración se produce CO_2 y se consume O_2 . Sin embargo solamente de 1/5 a 1/3 de las sustancias ganadas por la fotosíntesis son consumidas nuevamente. Mientras las hojas verdes sobre el techo aumenten, se generará oxígeno y se consumirá CO_2 . Si existe un equilibrio entre el crecimiento y muerte de partes de las plantas, siempre existiría la ventaja de que se extraiga CO_2 del aire y quede almacenado en ellas.

4.2.1.1.2.3 Limpieza del aire

Las plantas pueden filtrar polvo y partículas de suciedad. Estas quedan adheridas a la superficie de las hojas y son arrastradas después por la lluvia hacia el suelo. A su vez las plantas pueden absorber partículas nocivas que se presentan en forma de gas y aerosoles. Investigaciones de Bartfelder demostraron, que en los barrios céntricos de las ciudades, altamente contaminados, también los metales pesados son captados por las hojas (Bartfelder y Kóhler 1986).

Mediciones sobre una calle federal suiza dieron como resultado que un seto de 1 m de alto y 0,75 m de ancho reduce un 50%, a través de su efecto de filtro, la contaminación por plomo de la vegetación ubicada detrás de él. (Lótsch 1981).

4.2.1.1.2.4 Regulación de la temperatura

Es por medio de la evaporación de agua, la fotosíntesis y la capacidad de almacenar calor de su propia agua, que la planta extrae el calor de su ambiente. Este efecto de enfriamiento, que se hace perceptible fundamentalmente en los días cálidos de verano, puede demandarle el 90% de la energía solar consumida. Con la

evaporación de un litro de agua son consumidos casi 2,2 MJ (530 kcal) de energía. La condensación del vapor de agua en la atmósfera, pasa a formar nubes, donde la misma cantidad de energía calórica es liberada nuevamente. Lo mismo sucede cuando por la noche se condensa la humedad en las plantas. La formación del rocío matinal en fachadas y cubiertas verdes trae aparejada una recuperación del calor. Por lo tanto, las plantas solas pueden a través de la evaporación y la condensación de agua, reducir las oscilaciones de temperatura. Este proceso se fortalece aún más por la gran capacidad de almacenamiento de calor del agua existente en las plantas y en el sustrato, como así también a través de la fotosíntesis, ya que por cada molécula de $C_6H_{12}O_6$ (glucosa) generada son consumidos 2,83 kJ de energía.

4.2.1.1.2.5 Regulación de la humedad

Las plantas también reducen las variaciones de humedad. Particularmente cuando el aire está seco evaporan una considerable cantidad de agua y elevan así la humedad relativa del aire. Se puede decir que 1 ha de huerto evapora en un día caluroso de verano aproximadamente 1500 m³ de agua y un seto aproximadamente de 0,28 a 0,38 m³. Por otra parte, las plantas pueden disminuir la humedad del aire con la formación de rocío. Así se condensa la niebla sobre las hojas y tallos de un techo verde y luego pasa la tierra en forma de gotas de agua.

4.2.1.1.2.6 Efecto de aislación térmica

Los colchones de plantas sobre los techos tienen un alto efecto de aislación térmica, sobre todo debido a los siguientes fenómenos:

- El colchón de aire encerrado hace el efecto de una capa de aislante térmico. Cuanto más denso y grueso sea éste, mayor es el efecto.
- Una parte de la radiación calórica de onda larga emitida por el edificio es reflejada por las hojas y otra parte absorbida. Es así que disminuye la pérdida de radiación de calor del edificio.

- Una densa vegetación impide que el viento llegue a la superficie del sustrato. Como ahí casi no existe movimiento de aire, la pérdida de calor por efecto de viento se acerca a cero. Ya que en edificios viejos aislados, sin protección térmica mejorada, la pérdida de calor por convección (en particular por el viento) puede ser mayor al 50%, una densa capa de plantas lograría en estos casos el más eficaz ahorro de energía.
- Por la mañana temprano, cuando la temperatura exterior es más baja, y por lo tanto la diferencia de temperatura y la pérdida de calor de los ambientes calientes hacia afuera es mayor, se forma rocío en la vegetación. La formación de rocío aumenta la temperatura en la capa de vegetación (porque en la condensación de 1 g de agua se liberan aproximadamente 530 calorías de calor). De modo que a través de esto la pérdida de calor transmitida nuevamente se reduce.
- En zonas de climas fríos, en las que en invierno la tierra se congela, se produce una ventaja adicional: para la transformación de un gramo de agua a hielo se liberan aproximadamente 80 calorías, sin que la temperatura baje. Por consiguiente, se mantiene la tierra congelada durante largo tiempo a 0°C, incluso cuando la temperatura exterior es bastante más baja. Con una temperatura de +20°C (interior), de -20°C (exterior) y una temperatura de la tierra de 0°C disminuye la pérdida de calor por transmisión del techo, por lo tanto, alrededor de un 50%. Vale decir que el aislamiento térmico aumenta al doble respecto al mismo techo sin sustrato ni vegetación. Al derretirse el hielo se consumirá nuevamente la correspondiente energía de 80 cal/g de hielo para la transformación del estado de agregación, ya que ésta es extraída del aire; surge entonces, a través de este efecto de ahorro latente, una ganancia de calor para el techo. Investigaciones parten de la base de que un denso colchón de pasto tiene un valor de 0,17 W/mK y un sustrato de tierra húmeda muestra un valor de cerca de 0,6 W/mK.

4.2.1.1.2.7 Capacidad de retención

En muchas grandes ciudades existe el peligro de que después de una lluvia torrencial las calles queden inundadas. Una cubierta verde con 20 cm de sustrato de tierra y arcilla expandida puede, según almacenar 90 mm de agua (90 litros por m²). Por su poder de retención de agua, las cubiertas verdes llevan a la disminución de los "altos picos de agua", estableciéndose parámetros como es el coeficiente de desagüe de aguas pluviales para superficies techadas ajardinadas con un mínimo de 10 cm de espesor. Por ejemplo un coeficiente que es de 0.3 significa, que sólo el 30% de la lluvia caída desagua y el 70% queda retenida en la cubierta verde o se evapora. Para cubiertas comunes con más de 30° de inclinación debe, sin embargo, contarse con un desagüe de pluviales del 100%. Mediciones divulgadas indican que el retraso del desagüe de pluviales después de una fuerte lluvia es más decisivo aún para el alivio del sistema de desagüe en la cubierta verde con 12° de inclinación y 14 cm de espesor de sustrato, después de una fuerte lluvia durante 18 horas, se cronometró un retraso de 12 horas del desagüe pluvial. Terminó de desaguar la lluvia recién 21 horas después de que dejara de llover.

Estas investigaciones muestran que las cubiertas verdes, mediante su efecto de parachoque y retardo, alivian considerablemente las redes de alcantarillado de la ciudad, que siempre deben ser dimensionadas para las precipitaciones máximas. Por lo tanto, se podría redimensionar el sistema de alcantarillado, ajardinando grandes urbanizaciones y zonas industriales y así abaratar costos. En los sistemas separativos de desagüe podrían suprimirse las redes de alcantarillas para aguas pluviales, si el resto del agua se pudiera filtrar en el terreno.

4.2.1.1.2.8 Integración con el paisaje

Una casa enjardinada se ajusta más fácilmente al entorno, se integra con el paisaje mejor que una casa sin espacios verdes, particularmente cuando el techo llega

hasta el nivel del jardín y por lo tanto la vegetación de éste sube directamente a la del techo.

4.2.1.1.3 COMPONENTES DE UNA CUBIERTA VERDE

Las capas que componen el sistema de cubiertas verde son desde la parte más alta hasta la más baja respectivamente:

- 1) Vegetación
- 2) Sustrato
- 3) Capa Drenante (geo-compuesta o agregado permeable) o capa intermedia
- 4) Manto antiraíz
- 6) Membrana impermeabilizante o emulsión
- 7) Base



Figura 4. Componentes de una cubierta verde.

Fuente: Ramírez, C. (2014).

4.2.1.1.3.1 Vegetación

Es el componente más activo de la cubierta verde y su escogencia depende principalmente del tipo de cubierta verde, condiciones medioambientales tales como temperatura del aire y periodos de lluvia y sequía de la zona, disponibilidad de nutrientes, biota local y condiciones estéticas requeridas (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014). Sus atributos principalmente deben garantizar su supervivencia, por lo que se recomienda que esta sea (CIRIA, 2007):

- Plantas Perennes
- Tolerante a la sequía y que necesite poca o ningún tipo de irrigación después de su establecimiento.
- Adaptable en suelos bien drenados
- Auto-sostenible, que no necesite fertilizantes, pesticidas o herbicidas y requiera poco mantenimiento
- Rápida colonización
- Hábil para soportar calor, frío y fuertes vientos
- Tolerante a suelos pobres y condiciones ácidas
- Resistente al fuego

4.2.1.1.3.2 Sustrato de suelo

Es el medio apto para el crecimiento de las plantas gracias a que le brinda estabilidad mecánica, nutrientes, retención y drenaje de agua, el cual en lo posible debe tener las características óptimas para no realizar procesos de irrigación y retenerla cantidad de aire requerida. Esta capa debe tener un espesor de entre 10 y 25 cm por lo menos y estar compuesta por suelos de baja densidad con buena retención de agua y mezclas de materia orgánica y mineral, como arcilla expansiva y piedra pómez triturada (CIRIA, 2007), sin embargo, el uso de tejidos de fibras o laminas sintéticas conformadas por felpa es una opción eficiente (Secretaria Distrital

de Ambiente, 2011). En caso de usar suelo, sus especificaciones se muestran en la *Tabla 1* de manera detallada.

Propiedad Física	Sistema de una capa	Sistema multi-capas
Retención de agua	Min 20%	Min 35%
Permeabilidad de agua	Min 60 mm/min	Min 0.6 mm/min
Contenido de aire (Totalmente saturado)	Min 10%	Min 10%
Propiedad Química		
Ph	6.5 a 9.5	6.5 a 8
Contenido de sal de agua extraída	Max 1 g/l a 8%	
Contenido inicial de materia orgánica	4 a 8%	
Nitrógeno (N)	Max 80 mg/l	
Fosforo (P ₂ O ₅)	Max 200 mg/l	
Potasio (K ₂ O)	Max 700 mg/l	
Magnesio (Mg)	Max 160 mg/l	

Tabla 1. Especificaciones del suelo de sustrato para techos verdes extensivo.

Fuente: CIRIA (2007)

4.2.1.1.3.3 Capa Drenante

Su propósito es en conjunto con el sustrato, controlar las propiedades de retención y drenaje de agua en la cubierta verde. Debe tener la suficiente capacidad de flujo para llevar el volumen de agua necesario por la cubierta y prevenir encharcamientos sobre la membrana, y las condiciones de drenaje adecuadas para almacenar agua en tiempos de sequía y evitar la muerte de las plantas (Carroll, 2010). Las capas

drenantes pueden ser materiales granulares como grava y arena, arcilla expansiva y pizarra o roca volcánica y piedra pómez o sistemas modulares compuestos de láminas de plástico perfiladas como se ilustra en la *imagen 5*.

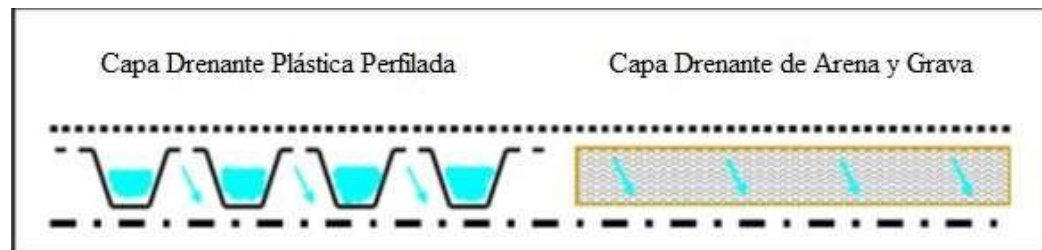


Figura 5. Elementos usados como capa drenante.

Fuente: Carroll (2010)

4.2.1.1.3.4 Manto antiraíz

El objetivo principal de la barrera es garantizar la estanqueidad en el techo y evitar que las raíces de las plantas se extiendan a zonas no deseadas.

Esta barrera puede variar dependiendo del tipo de plantas. Para especies con raíces agresivas, se emplean hojas asfálticas con agentes incorporados o con hojas termoplásticas para trabajo pesado con cintas adhesivas en las uniones para evitar su penetración. Para plantas con raíces menos agresivas, se emplean láminas termoplásticas standard, superpuestas en los bordes. (Servicio de Jardines UGR, 2014).

4.2.1.1.3.5 Membrana Impermeabilizante

Finalmente, debajo de esa última capa y sobre el elemento estructural de la cubierta, se coloca la impermeabilización, cuya función es lograr la hermeticidad del techo desviando el agua hacia los conductos de drenaje (Pérez, G. 2004).

De todos los componentes que hacen un techo Verde, no hay nada más importante que la membrana de impermeabilización.

Existe un gran número de membranas y montajes disponibles, incluyendo las de varias capas, capa sencilla y de aplicación de líquidos.

Idealmente, la membrana para un Techo Verde debe cumplir con lo siguiente:

- Capaz de mantenerse en un ambiente continuamente húmedo.
- De larga duración.
- Totalmente unida al soporte.
- Monolítico o Sin Costuras.
- Fácil de detallar.
- Garantía total (materiales y mano de obra)
- Éxito probado y garantizado. (Base de datos de obras)

Para asegurar una correcta instalación, la membrana debe ser instalada por personal entrenado y certificado.

La membrana de goma de asfalto, es una membrana que se ha desempeñado bien en techos verdes, y tiene una experiencia en techos cubiertos de más de 45 años.

Este tipo de membrana se aplica sobre una tela reforzada, gruesa, de fábrica, de 215 mils, directamente sobre la cubierta, sin costuras (monolithic).

Esto facilita la localización y reparación cuando se requiera, lo cual lo hace ideal para techos Verdes.

4.2.1.1.4 CRITERIOS DE CONSTRUCCIÓN

4.2.1.1.4.1 Inclinación del techo

La inclinación de la cubierta es decisiva para la construcción del techo verde y la elección del tipo de vegetación. En techos planos sin suficiente espesor de sustrato y sin capa de drenaje, suele presentarse un problema: se producen con fuertes

lluvias, estancamientos de agua, lo que para muchas plantas es perjudicial, principalmente para los pastos, ya que la respiración de la raíz es severamente dañada.

Para lograr un costo razonable, la construcción del techo debería tener una inclinación mínima del 5%, porque así no es necesario un drenaje especial. Los techos de gran longitud, con más del 40% (22°) de inclinación, necesitan en general precauciones especiales, que impidan que el sustrato se deslice.

4.2.1.1.4.2 Consideraciones de carga

Para el dimensionado de la construcción del techo hay que tomar en cuenta, como carga permanente, el peso total del techo, el sustrato en el estado de saturación de agua y también la carga de la vegetación.

Durante la construcción del enjardinado del techo debe evitarse muy especialmente sobrepasar puntualmente la capacidad de carga admisible, ya sea por transporte de pesos o por almacenaje de materiales sobre el mismo. Esto puede suceder, por ejemplo al repartir la carga sobre maderos, placas o similares.

En techos extensivos de una sola capa de sustrato con drenaje poroso liviano (10 cm de espesor total), en estado de saturación de agua, se toma un peso de 1,0 kN/m² (100 kg/m²).

4.2.1.1.4.3 Altura del techo y orientación al cielo

La carga del viento y la radiación solar influyen sobre todo en la evaporación y tienen por lo tanto influencia en la elección de las plantas. Con la altura del techo sube la carga del viento y con ello también la evaporación en las plantas. En techos inclinados orientados hacia el sol, como la radiación solar es más fuerte, se secan antes, de modo que allí se instalarán otras especies de plantas.

4.2.1.1.4.4 Desagüe

El desagüe se produce principalmente en el sustrato; si la capa es fina o la lluvia es copiosa, también se produce en la superficie. Deben tomarse los siguientes valores de desagüe de aguas pluviales para superficies de techos enjardinados:

- Para plantaciones intensivas: 0,3 (es decir 30%)
- Para plantaciones extensivas por encima de 10 cm de espesor: 0,3
- Para plantaciones extensivas por debajo de 10 cm de espesor: 0,5

4.3 MARCO CONTEXTUAL

4.3.1 UBICACIÓN

Valledupar es la capital del Departamento del Cesar, está ubicada al nororiente de la Costa Atlántica colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar formado por la Sierra Nevada de Santa Marta al Oeste y la serranía del Perijá al Este. Es la cabecera del municipio homónimo, el cual tiene una extensión de 4493 km², 443414 habitantes y junto a su área metropolitana reúne 6629413 habitantes; está conformado por 15 asentamientos, 25 corregimientos y 102 veredas. El perímetro urbano abarca 50.5 Km², cuenta con 204 barrios y está dividido en seis comunas.

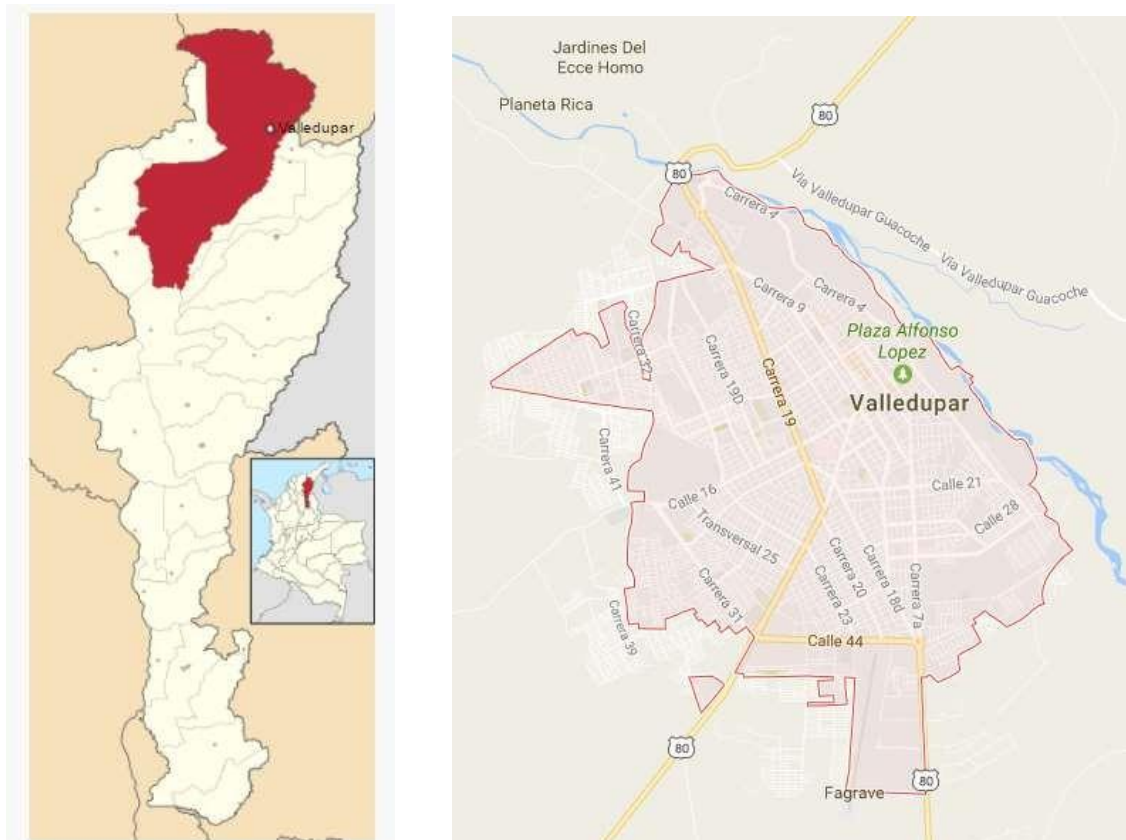


Figura 6. Ubicación geográfica del municipio de Valledupar (Cesar).

Fuente: Wikipedia.

Fuente: Google maps, (2017).

4.3.2 CLIMA

Valledupar, dada su latitud, se encuentra en la zona de dominios tropicales, posee un clima tropical donde las características generales del clima son elevadas temperaturas y escasa oscilación térmica anual.

En cuanto a las temperaturas, según los datos acumulados desde 1969 por el IDEAM en su estación meteorológica ubicada en el aeropuerto Alfonso López, la temperatura media anual es de 28,4 °C, con mínimas y máximas de 22 °C y 34 °C respectivamente. El mes más caluroso es abril con un promedio de 30 °C y el más fresco es octubre con 26 °C.

A lo largo del año y aunque las temperaturas son bastante uniformes debido a la posición intertropical de la ciudad, se suceden diversas condiciones climáticas: el mes de enero inicia con mucha brisa y con velocidades del viento de hasta 30 nudos, conforme avanzan los días, la humedad relativa desciende paulatinamente y la sensación térmica es muy agradable, sintiéndose incluso bastante fresca durante la noche; febrero y marzo son ya muy secos debido a la influencia secante de los vientos alisios del nordeste que soplan desde diciembre (HR <25%), la insolación es muy alta, pudiéndose presentar 30 días consecutivos sin nubes. Al finalizar marzo, las temperaturas son bastante altas, mayores de 36°C, y es en esta época cuando se registran las máximas anuales (38 a 42°C). Abril inicia con un descenso en los vientos y aumento de la humedad abriendo paso a la primera temporada de lluvias del año, durante este mes y el mes de mayo, la humedad relativa se incrementa y aunque las temperaturas descienden algunos grados por motivo de la nubosidad, la sensación térmica es agobiante, en parte mitigada al finalizar el día por las frecuentes lluvias vespertinas y nocturnas. Junio y julio son meses de transición, ni muy secos ni muy húmedos y aunque algunos días se sobrepasan los 38 °C, las máximas y las mínimas rondan entre los 23 y 33 °C, con incremento en las brisas debido a la acción de los vientos del Veranito de San Juan; son meses relativamente agradables. En agosto se suceden tardes calurosas y fuertes tormentas eléctricas, septiembre y octubre son lluviosos y relativamente

frescos (21-31 °C) y noviembre y diciembre algo más secos, ventosos, despejados y son los meses con clima más agradable. Valledupar es una de las ciudades de Colombia donde el fenómeno del Niño provoca las mayores anomalías de temperatura máxima

A nivel térmico Valledupar es la ciudad de Colombia con la temperatura media más elevada si se tienen en cuenta solo las capitales departamentales según el IDEAM y las mediciones registradas en el aeropuerto, no en el centro de la ciudad, aunque teniendo en cuenta otros factores climáticos como lo es su baja humedad relativa, que es de 67%, la más baja entre las capitales junto a Neiva, y los permanentes vientos (es la tercera ciudad entre las capitales con más vientos durante el año solo detrás de San Andrés y Riohacha) el confort térmico o sensación térmica que se percibe en la ciudad la hace equiparable con ciudades como Santa Marta y Barranquilla.

4.4 MARCO CONCEPTUAL

AISLAMIENTO TÉRMICO: Conjunto de materiales y técnicas de instalación que se aplican a un elemento o a un espacio calientes para minimizar la transmisión de calor hacia otros elementos o espacios no convenientes.

ÁREA VERDE: Terreno o espacio delimitado que se caracteriza por la presencia de vegetación.

CALENTAMIENTO GLOBAL: Aumento gradual de las temperaturas de la atmósfera y océanos de la Tierra que se ha detectado en la actualidad, además de su continuo aumento que se proyecta a futuro.

CO₂ (Dióxido de carbono): Gas incoloro, inodoro y vital para la vida en la Tierra que se encuentra de forma natural en la atmósfera.

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: Fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

CUBIERTA: Conjunto de elementos utilizados para el encerramiento y protección de la parte superficial de las edificaciones, la cual tendrá contacto con el exterior.

CUBIERTAS VERDES: Techo de una edificación que está parcial o totalmente cubierto de vegetación para cumplir una función ecológica.

DESARROLLO URBANO: Proceso de adecuación y ordenamiento, a través de la planeación del medio urbano, en sus aspectos físicos, económicos y sociales; implica además de la expansión física y demográfica, el incremento de las actividades productivas, la elevación de las condiciones socioeconómicas de la

población, la conservación y mejoramiento del medio ambiente y el mantenimiento de las ciudades en buenas condiciones de funcionamiento.

DESARROLLO SOSTENIBLE: Se entiende por desarrollo sostenible el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

DRENAJE: Remoción por medios naturales o artificiales del exceso de agua acumulado en la superficie o a lo largo del perfil del suelo.

ESQUEJE: Tallo, rama o retoño de una planta que se injerta en otra o se introduce en la tierra para reproducir o multiplicar la planta.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA: Es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas.

GARITA METEOROLÓGICA: Es un sistema de protección homologado, utilizado en los observatorios meteorológicos profesionales para evitar que las emisiones de radiación en forma de energía calorífica puedan influenciar más o distorsionar la mediciones de temperatura.

ISLA DE CALOR: Fenómeno que consiste en la acumulación del calor en las ciudades debido a la construcción con materiales que absorben y acumulan el calor a lo largo de las horas de insolación y lo liberan durante la noche impidiendo que bajen las temperaturas.

PLANTA PERENNE: Planta que vive durante más de dos años o, en general,

florece y produce semillas más de una vez en su vida.

SUSTRATO: Base, materia o sustancia que sirve de sostén a un organismo vegetal o animal, en el cual transcurre su vida; satisfaciendo determinadas necesidades básicas de los organismos como la fijación, la nutrición, la protección, la reserva de agua, etc.

TÉCNICA DE JERARQUIZACIÓN: Es el método más simple dentro de los métodos de consulta a expertos disponibles. Consiste en la ordenación jerárquica de un conjunto de n elementos. Para esto, se solicita a un grupo de expertos que ordenen los factores por orden de importancia, asignando un 1 al factor más importante, un 2 al siguiente y así sucesivamente hasta asignar n , si hay n factores, al menos importante. También se puede utilizar el orden inverso y asignar n , al más importante y 1 al menos importante. Los cálculos vienen dados en primera instancia por la suma de puntos asignados por cada juez a cada uno de los criterios, valor que dividido por la sumatoria total de puntos, representará el peso correspondiente a cada elemento y criterio decisorio final.

TERMÓMETRO: Instrumento que mide la temperatura en diversas horas del día.

4.5. MARCOL LEGAL

4.5.1. CONSTITUCION COLOMBIANA DE 1991

- **Artículo 58.** “Cuando de la aplicación de una ley expedida por motivos de utilidad pública o interés social, resultaren en conflicto los derechos de los particulares con la necesidad por ella reconocida, el interés privado deberá ceder al interés público o social. La propiedad es una función social que implica obligaciones. Como tal, le es inherente una función ecológica.”
- **Artículo 79** “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.”
- **Artículo 80.** El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

4.5.2. LEY 152 DE 1994 (Ley Orgánica del Plan de Desarrollo), que establece la regulación y la ordenación de los planes de desarrollo del país, obliga a todos los actores involucrados en la planeación urbanística de la ciudad a respetar al medioambiente y destinar un porcentaje de las construcciones desarrolladas para ubicar zonas verdes, jardines o terrazas.

4.5.3. ACUERDO 391 DE 2009 del Consejo de Bogotá D.C, expedido el 5 de agosto del 2009, "Por medio del cual se dictan lineamientos para la formulación del Plan Distrital de Mitigación y Adaptación al cambio climático y se dictan otras

disposiciones"; con el fin de mejorar la calidad de vida y garantizar el desarrollo sostenible de la ciudad.

4.5.4. ACUERDO 418 DE 2009 del Consejo de Bogotá D.C, expedido el 22 de diciembre del 2009, "Por el cual se promueve la implementación de tecnologías arquitectónicas sustentables, como techos o terrazas verdes, entre otras en el D. C. y se dictan otras disposiciones"; se le asigna a la Administración Distrital de promover el urbanismo sostenible mediante la implementación adecuada de techos, o terrazas verdes, entre otras tecnologías, en los proyectos inmobiliarios públicos de carácter Distrital y privados nuevos o existentes de la Ciudad, como medida de adaptación y mitigación al cambio climático.

4.5.5. EL PROYECTO DE ACUERDO NO. 386 DE 2009 DEL DECRETO 1421 DE 1993, "por el cual se implementan, promueven y estimulan las tecnologías de creación de techos verdes en Bogotá, D.C. y se dictan otras disposiciones"; este proyecto de acuerdo busca que los inmuebles de carácter público o privado que se construyan en adelante, implementen la tecnología de techos verdes como una alternativa para el mejoramiento ambiental, ecológico, paisajístico y urbano. De esta manera, el Acuerdo establece "Las cubiertas vegetales, pueden de forma directa o indirecta, contribuir a recuperar el entorno natural". Mediante incentivos tributarios, el gobierno está impulsando esta tendencia que trae beneficios individuales y sociales como la certificación de captura de carbono (CCC).

4.5.6. PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL DE VALLEDUPAR 2016 – 2019. Por el cual se promueve en el componente 3. Valledupar con Desarrollo Territorial Sostenible, el programa 1: Valledupar Ciudad Verde, Amable e Incluyente, que tiene como gran apuesta la formulación e implementación del plan maestro de cambio climático en la ciudad.

5. HIPÓTESIS

Las cubiertas verdes con plantas locales proporcionan un aislamiento térmico para la edificaciones “residenciales” en la ciudad de Valledupar (Cesar).

6. METODOLOGÍA

6.1. TIPO DE ESTUDIO

El tipo de investigación realizada es de carácter experimental, basada en dos etapas fundamentales que son: cualitativa y cuantitativa. En la parte cualitativa se realizó un análisis con base en información secundaria, donde se consultó lo más actualizado sobre de cubiertas verdes. La etapa cuantitativa corresponde a la construcción, operación del sistema, mediciones de las variables y obtención de resultados.

6.2. EXPERIMENTACIÓN

El proyecto se ejecutó a partir de diferentes fases:

- Selección de las plantas a implementar en la cubierta.
- Determinación de las características del sustrato a utilizar.
- Adaptación de las plantas al sustrato.
- Construcción de prototipos de casas con un soporte para la cubierta.
- Medición de temperaturas para determinar el efecto de aislamiento térmico de los sistemas.

6.2.1. FASE I: SELECCIÓN DE LAS PLANTAS LOCALES PARA LA CUBIERTA VERDE

Para la selección de las plantas locales a usar como superficie de la cubierta verde, se realizó:

6.2.1.1. Revisión bibliográfica: Se acudió a libros, catálogos, artículos, blog informativos y todo material relativo al tema de plantas y cubiertas verdes.

6.2.1.1.1. Determinación de los criterios fundamentales: Con base a la revisión bibliográfica y con el fin de escoger las plantas que mejores características presentan para ser implementadas a la cubierta verde, se establecieron diez (10) criterios de selección en pro de garantizar la adaptación adecuada de la planta a las condiciones de la cubierta (Ver tabla 2).

1	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas
2	Raíz superficial
3	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego)
4	De alta resistencia a la plagas
5	Valor estético
6	Resistentes a las sequias (capacidad de resiliencia)
7	Planta de peso ligero
8	Color prolongado de las hojas (siempre verde)
9	Espacios no propicios para animales como aves, roedores, felinos, etc.
10	Rápida colonización

Tabla 2. Criterios de selección.

Fuente: Autores.

Se realizó consulta a expertos (arquitectos, ingenieros civiles y ambientales) a través de entrevista personal y aplicación de treinta (30) encuestas, se valoró la importancia de los criterios de selección para determinar cinco (5) fundamentales haciendo uso de la técnica de jerarquización (métodos de consulta a expertos) sobre los cuales se evaluaron las plantas implementadas en el proyecto.

6.2.1.1.2. Selección de las plantas: De acuerdo a la revisión bibliográfica y los criterios establecidos para la selección, se elaboró un listado, en el cual se preseleccionaron cinco (5) las plantas candidatas para ser implementadas en la cubierta verde (Ver tabla 3).

1	Abrojo (<i>Tribulus Terrestris</i>)
2	Verdolaga (<i>Portulaca Oleracea</i>)
3	Diez Del Día (<i>Portulaca Grandiflora</i>)
4	Pasto (<i>Zoysia Japonica</i>)
5	Maní Forrajero (<i>Arachis Pintoi</i>)

Tabla 3. Plantas preseleccionadas.

Fuente: Autores.

Se realizó consultas a expertos en vegetación (viveristas e ingenieros forestales), a través de entrevista personal y aplicación de treinta (30) encuestas, se clasificaron en orden de elegibilidad el listado de plantas preseleccionado de acuerdo con el comportamiento de estas frente a los criterios fundamentales de selección establecidos, se escogieron dos (2) plantas haciendo uso de la técnica de jerarquización (métodos de consulta a expertos) para ser implementadas en el estudio del proyecto de cubiertas verdes.

6.2.2. FASE II: DETERMINACIÓN DEL SUSTRATO Y SELECCIÓN DEL ESPESOR APROPIADO PARA EL DESARROLLO DE LA PLANTA

Para la elección del sustrato que se implementó como medio de crecimiento para la planta, se seleccionaron tres (3) tipos de abono orgánicos, los más conocidos y comerciales empleados en la región, también se realizaron mezclas entre estos en porcentajes iguales. Además se realizó el acondicionamiento de los abonos adicionando cascarilla de arroz a cada muestra. Posterior a esto, se sometieron a ensayos en un periodo de quince (15) días los sustratos con las plantas seleccionadas, buscando definir en cual presentaron mejor comportamiento.



Figura 7. *Abonos orgánicos comerciales y de bajo costo en la región.*

Fuente: Autores.

El criterio de selección de la altura o espesor de sustrato se estableció entre los rangos para una cubierta extensiva (5 a 15 cm).

6.2.3. FASE III: ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS AL SUSTRATO

Durante un periodo de treinta (30) días se realizó la adaptación de las dos (2) plantas seleccionadas al sustrato elaborado, por medio del método de cultivo reproducción por esquejes o trasplantación (*Ver Figura 9*). Este periodo se dividió entre quince (15) días correspondían a condiciones de las plantas en zonas de invernaderos y los quince (15) días posteriores en condiciones de intemperie, de modo que las plantas se habituaron a las nuevas condiciones físicas y químicas del sustrato.



Figura 8. Método de cultivo reproducción por esquejes o trasplantación.

Fuente: Plantasdeinterior.

6.2.4. FASE IV: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Para el proyecto se diseñó una cubierta verde adaptable a edificaciones con techos comunes de tejas o láminas de fibrocemento. Se realizó un sistema estructural diferente a lo convencional (azotea), ya que se construyó por encima del techo de la edificación (*ver Figura 9*), donde el peso de la cubierta verde no se apoya sobre

la superficie del mismo, debido a que los materiales (tejas, láminas de fibrocemento) no están fabricadas para soportar este tipo de cargas.

Para poder llevar a cabo la construcción de la estructura se debió tener en cuenta que los materiales que cumpla con criterios de economía, durabilidad, de fácil manejabilidad y adquisición en el mercado.

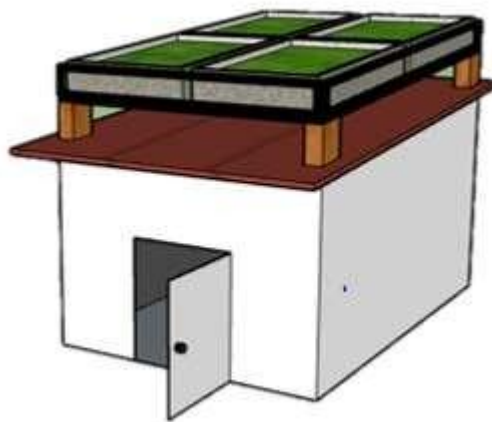


Figura 9. Estructura de soporte para la cubierta verde.

Fuente: Autores.

6.2.5. FASE V: EVALUACIÓN DE LA CUBIERTA VERDE Y EL EFECTO DE AISLAMIENTO TÉRMICO DE LOS SISTEMAS

Para determinar el efecto de aislamiento térmico que brindan las cubiertas verdes, se simularon tres (3) secciones de la cubierta de una vivienda, a las cuales, dos (2) de ellas se le implementaron los prototipos de cubiertas verdes diseñadas y a la otra se le dejó como modelo de una vivienda con cubierta de teja convencional (ver *Figura 10*). En el interior de cada sección de vivienda y en condiciones de intemperie (ambiente), se instaló un sistema de termómetros para registrar la temperatura que se presentaba durante el transcurso del día.

Durante esta fase se realizó medición y monitoreo de las características de la vegetación y el efecto térmico de los sistemas de cubiertas verde durante un periodo de quince (15) días.



Figura 10. Secciones de la cubierta de una vivienda.

Fuente: Autores.



Figura 11. Termómetros en estación de meteorológica.

Fuente: Estrellas y borrascas. (2016)

7. ANALISIS DE RESULTADOS

Uno de los aspectos que impulsó la realización de este proyecto, es la creciente demanda por buscar alternativas que mitiguen los impactos ocasionados por la expansión urbana, de modo que se optó por implementar ecotecnologías como las cubiertas verdes, que brindan beneficios económicos y ecológicos, al volver a incluir espacios verdes en áreas que habían sido afectadas por las acciones del hombre.

Es por esta razón que el proyecto diseñó y evaluó cubiertas verdes para ser implementadas en la ciudad de Valledupar, con vegetación adaptable a las condiciones cálidas de la región. Se analizó el aislamiento térmico que proporcionaban las cubiertas verdes, para de esta manera probar que son una alternativa aplicable a edificaciones residenciales en ciudades como Valledupar.

7.1 SELECCIÓN DE LOS PLANTAS PARA LA CUBIERTA VERDE

7.1.1 Determinación de los criterios fundamentales

Se realizó una encuesta (**ANEXO 1**) a treinta (30) personas conocedoras del tema de construcción de cubiertas verdes, con el fin de determinar cinco (5) criterios fundamentales a partir de los diez (10) criterios establecidos previamente en la tabla 2 de la metodología. El resultado de la encuesta se organizó y analizó utilizando el método de consulta a expertos la técnica de jerarquización, como se puede observar en la siguiente tabla.

ENCUESTADO	ARQ. HECTOR CALIZ M.	ING. YEIMISO GAMEZ C.	ING. YULBREYNER PASTRAN N.	ING. JOSE CARLOS SANCHEZ P.	ARQ. DAIRO CAMPO O.	ARQ. CLAUDIO MARTINEZ D.	ING. ERNESTO MUNIVE M.	ING. FABIO DURANGO D.	ING. YIM RODRIGUEZ D.	ARQ. ALEXANDER COSTA S.	ING. ELENA GONZALEZ V.	ARQ. JOSE JAVIER OROZCO.	ARQ. JAIME CASTELLAR V.	ARQ. ALFONSO RIVERO R.	ING. ANTONIO PASTRANA N.	ARQ. SANTANDER BELEÑO P.	ARQ. ESPERANZA CHARRY M.	ARQ. ALFONSO MONSALVO R.	ARQ. RUBEN DARIO CARRILLO G.	ING. MILCIADES SOTO.	ING. BERTO ORTEGA S.	ING. ALVARO MEJIA.	ING. MARLYNG MORENO A.	ING. WILLIAM MEJIA O.	ING. LUIS GUERRA L.	ARQ. AUGUSTO OROZCO S.	ARQ. MIGUEL SANGUINO G.	ARQ. JORGE GOMEZ P.	ING. ANGEL DAVID POLO C.	ARQ. CARLOS GARCIA A.	SUMA	PESOS	
Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	2	8	7	1	4	5	10	3	10	4	9	9	3	9	6	9	9	10	5	8	6	3	4	2	10	2	9	5	6	6	184	0,112	
Raíz superficial.	4	9	4	9	9	7	9	4	3	6	5	5	5	10	5	10	8	9	6	9	10	4	5	4	9	1	10	7	7	8	201	0,122	
Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	10	5	8	7	10	4	8	9	9	7	3	7	10	8	4	1	7	8	9	5	5	8	3	3	8	4	8	8	10	204	0,124		
De alta resistencia a la plagas.	9	7	9	6	5	3	6	7	4	5	7	3	6	2	3	2	5	7	7	4	9	7	7	9	7	5	6	3	4	3	167	0,101	
Valor estético.	3	2	2	3	2	1	3	2	2	2	1	8	9	7	2	3	1	6	1	2	2	2	2	5	5	3	2	1	2	4	90	0,055	
Resistentes a las sequias (capacidad de resiliencia).	8	10	10	5	8	10	7	10	8	10	8	10	7	6	10	4	10	5	10	3	8	10	6	6	3	10	5	10	10	9	236	0,143	
Planta de peso ligero.	7	4	6	8	7	6	4	8	7	9	6	6	8	5	9	6	4	4	4	10	1	6	10	10	6	8	7	6	9	5	196	0,119	
Color prolongado de las hojas (siempre verde).	6	1	3	2	1	9	5	1	5	3	4	4	4	4	8	5	6	3	2	1	7	1	1	7	4	9	1	4	3	2	116	0,070	
Espacios no propicios para animales como aves, roedores, felinos, etc.	1	6	5	10	3	2	1	6	6	1	10	2	2	3	1	8	3	2	3	7	4	9	9	8	2	7	4	9	5	1	140	0,085	
Rápida colonización.	5	3	1	4	6	8	2	5	1	8	2	1	1	1	7	7	2	1	8	6	3	5	8	1	1	6	3	2	1	7	116	0,070	
																																1650	1,00

Tabla 4. Análisis de la encuesta selección de criterios (**ANEXO 2**)

Fuente: Autores.

La tabla anterior está organizada de la siguiente forma: en la primera columna a la izquierda se ubican los criterios de selección a evaluar, en la primera fila se ubica cada encuestado con su respectiva valoración a cada criterio, donde asignaron 10 al criterio más importante, 9 al siguiente y así sucesivamente hasta asignar 1 al menos importante, de acuerdo a la experiencia y conocimiento de los participantes.

La columna denominada PESOS es la ponderación de cada criterio, este se obtiene de dividir la suma de valores que se ha obtenido de la calificación de los expertos entre la suma total. Los criterios seleccionados fueron los cinco (5) de mayor peso y se muestran en la siguiente tabla.

CRITERIOS SELECCIONADOS	PESOS
Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	0,112
Raíz superficial.	0,122
Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	0,124
Resistentes a las sequias (capacidad de resiliencia).	0,143
Planta de peso ligero.	0,119

Tabla 5. *Criterios de mayor peso.*

Fuente: Autores.

7.1.2 Selección de las plantas

En base a los cinco (5) criterios fundamentales seleccionados que se muestran en el inciso anterior y el listado de plantas establecido previamente en la tabla 3 de la metodología, se realizó una encuesta (**ANEXO 3**) a treinta (30) personas conocedoras en la vegetación de la región, con el fin de determinar dos (2) plantas para ser implementadas en la cubierta verde. El resultado de la encuesta se organizó y analizó utilizando el método de consulta a expertos la técnica de jerarquización, como se puede observar en la siguiente tabla.



PLANTAS PRESELECCIONADAS	CRITERIO	ENCUESTADO																				SUMA	SUMA TOTAL	PESO										
		VIV. EDELIMNA HERNANDEZ	VIV. WENDY ESTRADA	ING. NICOLAS MARTINEZ	VIV. WILLIAMS GIRALDO	VIV. ABEL CORONEL	VIV. DULMA CARDEMS	VIV. SANDRA GIRALDO	VIV. EBERTO OLIVO	VIV. TOBIAS VILLERO	VIV. LEYLI SIERRA	JARD. GREGORIO SANCHEZ	VIV. CARLOS LONDOÑO	VIV. JIMY'S BARON	VIV. OCTAVIANA ROMERO	VIV. JUAN PACHECO	VIV. LUIS POVEA	VIV. CARLOS BARON	VIV. JUAN E. MUNIVE	VIV. EULISES ACUÑA	VIV. JUAN J. MUNIVE				VIV. JESUS VILLALBA	VIV. FRANCISCO CATIÑO	VIV. LINA MORA	VIV. EINER VEGA	VIV. JUAN BARON	VIV. EDWIN ESPAÑA	VIV. NURIS BLANCO	VIV. RAFAEL ESTRADA	VIV. TOBIAS REALES	VIV. ANA MARI MERCADO
 ABROJO (Tribulus terrestris)	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	4	1	5	1	1	4	1	1	5	5	1	5	5	5	1	4	5	4	1	5	5	5	4	4	3	4	3	5	1	103	530	0,1944	
	Raíz superficial.	4	1	5	2	1	4	1	2,5	4	2	1	4	2	2	1	3	3	5	1	4	4	3	3	2	2	4	3	2	3	1			79,5
	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	4	1	2	4	1	4	1	1	5	5	1	5	5	4	1	5	5	3,5	1	5	3	3	5	5	5	5	5	2	4	1			101,5
	Resistentes a las sequías (capacidad de resiliencia).	5	2	4	5	5	4	5	5	5	5	2	5	5	4	2	5	5	5	2	5	4	5	5	4	5	4	5	5	3	130			
	Planta de peso ligero.	4	3	4	4	4	4	3	4	5	5	2	5	5	3	1	4	5	4	2	5	5	5	5	3	5	3	4	4	5	1			116
 (Portulaca Oleracea)	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	4	3	5	2	2	4	4	4	5	5	2	5	5	3	3	5	5	3,5	2	5	5	5	5	3	5	2	4	5	3	114,5	531	0,1947	
	Raíz superficial.	4	1,5	5	5	2	4	3	3	4	5	1	5	3	3	1	4	4	5	2	5	5	4	5	5	5	2	4	4	3	2			108,5
	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	3	1,5	5	3	1	4	5	4	4	5	2	3	2	3	1	5	4	3,5	2	5	3	3	5	4	4	4	4	3	3	1			100
	Resistentes a las sequías (capacidad de resiliencia).	3	2	5	2	5	4	4	2	4	5	1	3	2	3	3	5	3	4	1	5	2	4	4	3	4	5	3	2	3	2			98
	Planta de peso ligero.	4	2	5	3	4	4	5	2	5	4	1	4	5	2	1	5	5	4	2	5	5	4	4	4	5	4	4	4	3	1			110
 DIEZ DEL DÍA (Portulaca grandiflora)	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	3	5	5	2,5	5	4	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	3,5	4	5	5	5	5	4	5	4	5	4	4	4	134	604,5	0,2217	
	Raíz superficial.	4	4	5	5	4	4	5	3	4	5	5	5	3	4	5	5	5	4	5	5	4	5	5	3	5	5	5	4	4	5			134
	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	3	5	5	2	3	4	5	4	4	2	2	4	2	2	4	5	5	2,5	5	5	4	3	5	4	4	2	5	4	3	3			110,5
	Resistentes a las sequías (capacidad de resiliencia).	3	4	5	3	1	4	5	2	5	2	3	3	2	2	2	5	3	3,5	4	3	3	4	4	4	4	1	4	3	3	4			98,5
	Planta de peso ligero.	4	4	5	3	4	4	5	2	5	5	4	4	5	3	3	4	5	3,5	5	5	5	4	5	5	3	5	4	4	4	5			127,5
 PASTO (Zoysia japónica)	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	5	5	5	3	5	4	5	2,5	3	2	4	3	5	4	5	2	4	4,5	4	5	2	5	4	5	1	1	4	5	4	5	116	531,5	0,1949
	Raíz superficial.	5	5	3	1	5	4	5	2,5	2	5	5	5	4	4	5	5	2	3,5	4	5	5	4	2	4	4	3	4	4	4	5	119		
	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	2	4	3	3	2	3	2	3	5	2	5	3	5	4	4	3	4	1	5	4	1	3	2	2	3	4	3	4	2	5	96		
	Resistentes a las sequías (capacidad de resiliencia).	1	5	2	4	1	4	1	3	5	2	5	2	5	4	5	2	5	2	5	3	2	5	2	3	2	4	2	5	2	5	98		
	Planta de peso ligero.	4	4	2	4	2	3	2	4	4	3	4	2	5	4	5	1	3	3,5	5	3	5	5	3	3	1	2	2	4	5	5	102,5		
 MANI FORRAJERO (Arachis pintoi)	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	3	3	5	5	5	4	5	3	3	5	2	4	5	4	2	5	5	5	4	4	3	5	5	5	4	5	3	5	4	3	123	530	0,1944
	Raíz superficial.	4	1	5	5	5	4	5	3	4	5	2	5	4	3	3	5	3	2	1	3	3	4	3	3	4	5	4	4	3	1	106		
	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	3	2	5	3	5	4	2	3	5	3	1	3	4	3	3	5	4	1	2	3	2	3	4,5	4	4	5	3	4	2	2	97,5		
	Resistentes a las sequías (capacidad de resiliencia).	3	3	5	4	3	4	1	3	5	2	1	3	4	3	2	3	5	3,5	1	3	1	4	3	2	4	4	2	5	3	1	90,5		
	Planta de peso ligero.	4	3	5	5	4	4	5	4	4	5	3	3	5	3	1	5	5	2	3	3	5	4	4	3	5	3	4	4	3	2	113		
																						2727												

Tabla 6. Análisis de la encuesta selección de plantas (ANEXO 4)

Fuente: Autores.

La tabla anterior está organizada de la siguiente forma: en la primera y segunda columna a la izquierda se ubican las plantas preseleccionadas y los criterios frente a los cuales se deben evaluar, en la primera fila se ubica cada encuestado con su respectiva valoración del comportamiento de cada planta frente a los criterios, donde se asignó 5 a la planta que cumple totalmente con el criterio, 4 al siguiente y así sucesivamente hasta asignar 1 a la planta que no cumple con el criterio establecido, de acuerdo a la experiencia y conocimiento de los participantes.

La columna denominada PESOS es la ponderación de cada Planta frente al criterio, este se obtiene de dividir la suma de valores que se ha obtenido de la calificación de los expertos entre la suma total. Las plantas seleccionadas fueron las dos (2) de mayor peso y se muestran en la siguiente tabla.

PLANTAS PRESELECCIONADAS	CRITERIO	PESOS $\sum_{i=1}^n (R_{ij})$
 DIEZ DEL DÍA (Portulaca grandiflora)	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	0,2217
	Raíz superficial.	
	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	
	Resistentes a las sequias (capacidad de resiliencia).	
	Planta de peso ligero.	
 PASTO (Zoysia japónica)	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	0,1949
	Raíz superficial.	
	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	
	Resistentes a las sequias (capacidad de resiliencia).	
	Planta de peso ligero.	

Tabla 7. Plantas con mayor peso.

Fuente: Autores.

7.2 DETERMINACIÓN DEL SUSTRATO Y SELECCIÓN DEL ESPESOR APROPIADO PARA EL DESARROLLO DE LA PLANTA

Para elegir el abono que se implementó como sustrato de la cubierta verde, se utilizaron de tres (3) tipos: compuesto ABIMGRA, abono quemado y abono de río por ser comerciales y de bajo costo y se realizaron mezclas entre ellos en porcentajes respectivos a cada tipo de abono agregado. A cada muestra de abono se le adicionó un 30% de cascarilla de arroz basados en que “Este ingrediente mejora las características físicas de la tierra y de los abonos orgánicos, facilitando la aireación, la absorción de humedad y el filtrado de nutrientes. También beneficia el incremento de la actividad macro y microbiológica de la tierra, al mismo tiempo que estimula el desarrollo uniforme y abundante del sistema radical de las plantas así como de su actividad simbiótica con la microbiología de la rizosfera. La cascarilla de arroz puede ocupar, en muchos casos, hasta un tercio del volumen total de los ingredientes de los abonos orgánicos” (Restrepo, J. 2007).

ABONO	PORCENTAJE (%) DE ABONO			ADICION
	COMPUESTO ABIMGRA	ABONO QUEMADO	ABONO DE RIO	CASCARILLA DE ARROZ
Muestra 1	70%	X	X	30%
Muestra 2	X	70%	X	30%
Muestra 3	X	X	70%	30%
Muestra 4	35%	35%	X	30%
Muestra 5	35%	X	35%	30%
Muestra 6	X	35%	35%	30%
Muestra 7	23,3%	23,3%	23,3%	30%

Tabla 8. Porcentaje Muestras de Abonos.

Fuente: Autores.

En la siguiente imagen se aprecia las siete (7) muestras de abonos.



Figura 12. Muestras de Abonos.

Fuente: Autores.

Las dos (2) tipos de plantas seleccionadas *Diez del Día* y *Pasto*, fueron sembradas en cada uno de las muestras de abono y se sometieron a un periodo de prueba de quince (15) días, con el fin de definir en cuál de los sustratos las plantas sobreviven y se desarrollan de forma adecuada.



Figura 13. Plantas de *Diez del Día* y *Pasto* en las muestras de abono luego de siete (7) días.

Fuente: Autores.



Figura 14. Plantas de Diez del Día y Pasto en las muestras de abono luego de quince (15) días.

Fuente: Autores.

Durante el periodo de quince (15) días se pudo evidenciar que las plantas (Diez del Día y Pasto) sembradas en las muestras 1, 4, 5 y 7 que incluían el abono *Compuesto Abimgra* o algún porcentaje de este se deterioraban, presentando un marchitamiento perceptible al segundo día en la muestra 1 (100% compuesto *Abimgra*), progresivo en los abonos 4, 5 en los primeros siete (7) días y en la muestra 7 la planta pereció a los nueve (9) días. Las plantas sembradas en los abonos 2, 3 y 6, mostraron un comportamiento óptimo durante los quince (15) días, se optó por implementar como sustrato la muestra 6 que agrupaba las características tanto del abono quemado como del abono de río, además, las plantas mostraron mayor crecimiento y no perdieron sus características estéticas.

Como criterio para escoger el espesor del sustrato se tuvo en cuenta que el espesor para una cubierta extensiva está determinado en un rango de 5 a 15 cm (Stovin et al., 2007). Se seleccionó 7 cm de espesor, para permitir el correcto desarrollo de las raíces de las plantas. Con este espesor y el uso de cascarilla de arroz en el sustrato se aligero notoriamente el peso de la cubierta verde, evitando cargas excesivas en

los puntos de apoyo en la edificación. El peso del sistema implementado estuvo aproximadamente entre 25 kg/m^2 y 33 kg/m^2 para la *Diez del Día* y el *Pasto* respectivamente, valores relativamente bajo para el estandar manejado en cubiertas extensivas de $60 - 120 \text{ kg/m}^2$ (Stovin et al., 2007).



Figura 15. Peso de la cubierta verde en estado seco.

Fuente: Autores.



Figura 16. Peso de la cubierta verde en estado de saturación.

Fuente: Autores.

El peso de la cubierta verde con planta *Diez del Día* en estado seco, es de 16,00 kg/m², mientras que en estado de saturación el peso es de 25,00 kg/m². En el caso de la cubierta verde con planta *Pasto*, el peso en estado seco es de 18,00 kg/m² y en estado de saturación es de 33,04 kg/m².

7.3 ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS AL SUSTRATO

Las plantas *Diez del Día* y el *Pasto*, se sometieron a un periodo de treinta (30) días de adaptación con el sustrato seleccionado. Este periodo se dividió entre quince (15) días en zonas de invernaderos y quince (15) días posteriores en condiciones de intemperie. La siembra se realizó mediante la multiplicación por esquejes, dado a que es uno de los métodos más comunes y acelerado en reproducción de estas plantas.



Figura 17. Adaptación de las plantas en condiciones de invernadero.

Fuente: Autores.



Figura 18. Adaptación de las plantas en condiciones de intemperie.

Fuente: Autores.

7.4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Teniendo en cuenta que la cubierta verde va a ser implementada sobre techos convencionales de tejas o láminas de fibrocemento, se hizo necesario el diseño y la construcción de una estructura que soportara el peso de la cubierta verde.

La estructura se construyó basados en que iban a ser adaptadas a unas casas prototipos elaboradas con el fin de evaluar el efecto de aislamiento térmico, por tal razón se realizó un diseño preliminar en hierro en forma de parrilla (*Figura 19*) la cual tiene un peso de 10,5 Kg y que pudiera contener las canastas donde estaba la cubierta verde, de modo que este sistema no está evaluado estructuralmente para ser adaptado a una edificación real, solo se tuvo en cuenta que el peso quedara uniformemente distribuido sobre los puntos de apoyos.



Figura 19. Estructura de soporte para la cubierta verde.

Fuente: Los autores.

7.5 EVALUACIÓN DE LA CUBIERTA VERDE Y EL EFECTO DE AISLAMIENTO TÉRMICO DE LOS SISTEMAS

Para la evaluación de la cubierta verde y el efecto de aislamiento térmico, se simularon tres (3) secciones de la cubierta de una vivienda (*ver Figura 20*), de las cuales se tomaron dos (2) secciones para evaluar los prototipos de cubiertas verdes diseñadas, una con la planta *Diez del Día* y la otra con *Pasto* y una (1) sección se tomó como referencia de una vivienda en condiciones normales, de modo que simularan las condiciones ambientales y así comparar las variaciones de temperatura con la implementación y sin la implementación de cubiertas verdes.



Figura 20. Secciones de la cubierta de una vivienda.

Fuente: Autores.

Para la medición de temperatura se instaló un sistema con cuatro (4) termómetros; tres (3) termómetros instalados al interior de cada sección de las viviendas y uno (1) termómetro se ubicó a la intemperie para registrar la medición de temperatura ambiente (*Figura 21*).



Figura 21. Termómetros en estación de meteorológica.

Fuente: Autores.

Durante esta fase se realizó medición y monitoreo durante un periodo de quince (15) días de las siguientes características:

6.2.5.1. Vegetación: Se llevó inspección visual del crecimiento y reproducción de las plantas, con el fin de comparar el desarrollo y las características estéticas al estar expuesta a las condiciones ambientales de Valledupar.

En el transcurso de los quince días de evaluación se llevó un registro fotográfico del estado físico de la vegetación, como se aprecia en las siguientes imágenes:

➤ *Diez del Día (Portulaca grandiflora):*



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 22. Evaluación de cubierta verde utilizando Diez Del Día. (a) Primer día. (b) Quinto día. (c) Decimo día. (d) Día Quince.

Fuente: Autores

➤ **Pasto (Zoysia Japónica):**



(a)



(b)



(c)



(d)

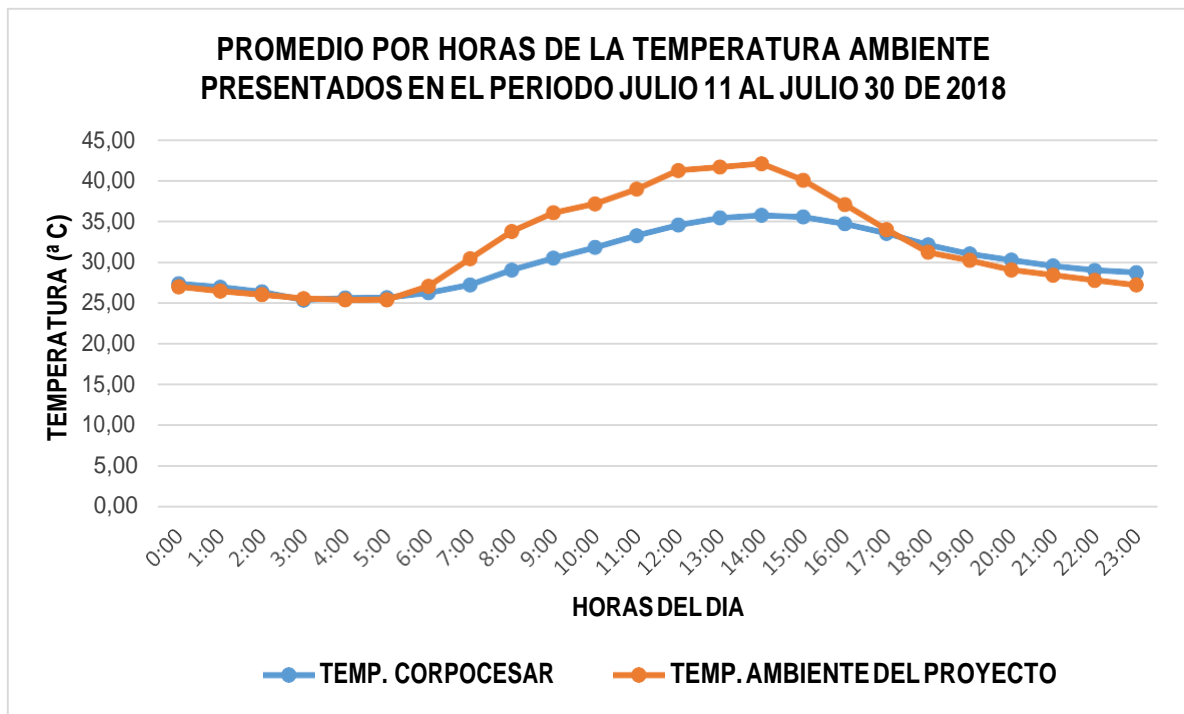
Figura 23. Evaluación de cubierta verde utilizando Pasto. (a) Primer día. (b) Quinto día. (c) Decimo día. (d) Día Quince.

Fuente: Autores

Durante los primeros cinco (5) días no se implementó riego en las cubiertas verdes con *Diez del Día* y *Pasto*, con el fin de analizar como afectaban estas condiciones de sequía la vegetación; se evidenció marchitamiento y decoloración en las plantas durante este periodo como se aprecia en la Figura 22 (b) y Figura 23 (b), después

de este periodo se implementó riego día por medio, buscando recuperar el aspecto y vitalidad de las plantas, obteniendo resultados favorables evidentes desde el décimo día. Al finalizar el periodo de los quince días de evaluación, las plantas se encontraban en condiciones óptimas como se muestra en la Figura 22 (d) y Figura 23 (d).

6.2.5.2. Efecto de aislamiento térmico de los sistemas cubierta verde: Durante el periodo de quince (15) días, la temperatura ambiente registrada cada hora por nosotros fue comparada con los datos provenientes de los informes de la plataforma SISAIRE ESTACIÓN (V2 - CORPOCESAR CE0005) para tener una referencia real de las mediciones. La siguiente gráfica describe el comportamiento de la temperatura del 11 al 30 de julio.

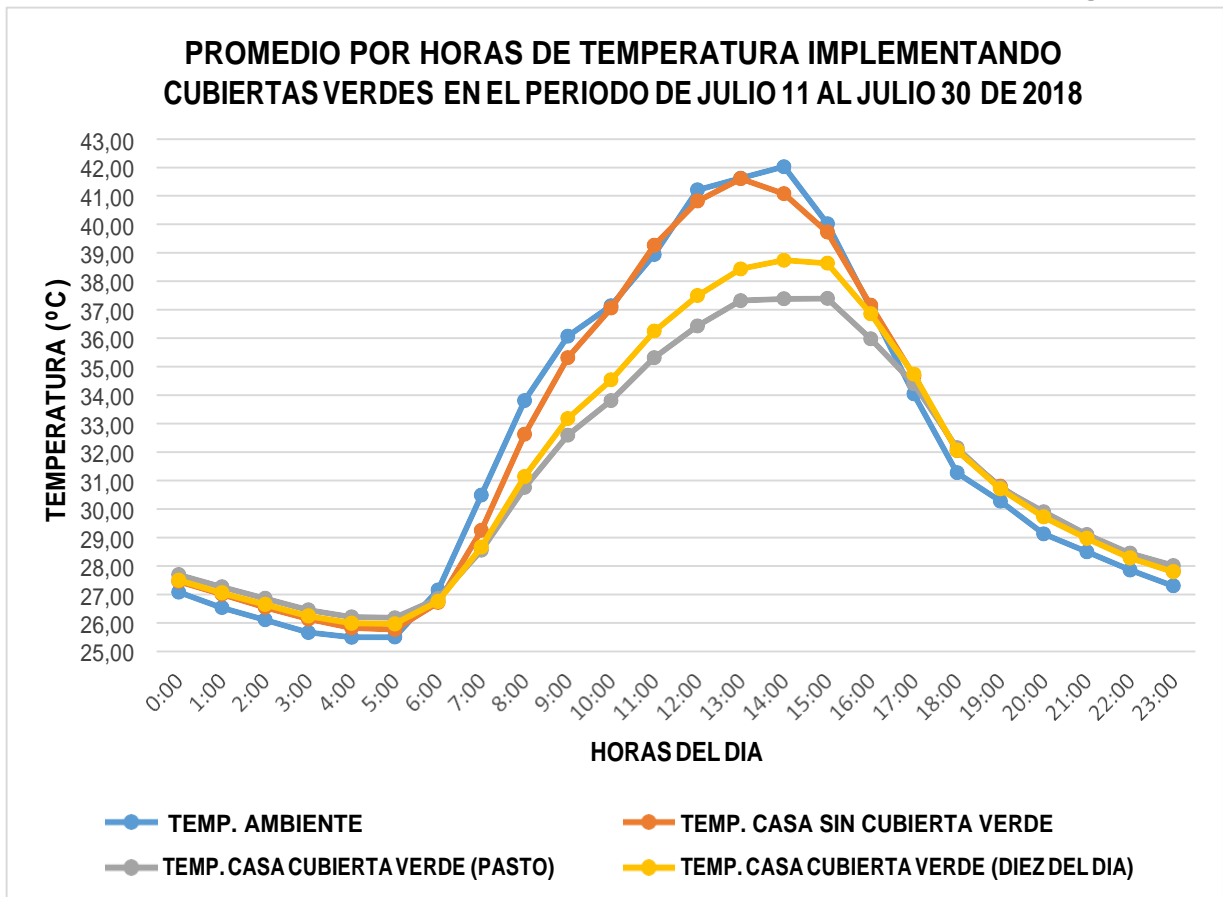


Gráfica 1. Promedio por horas de la temperatura ambiente presentados en el periodo julio 11 al julio 30 de 2018.

Fuente: Autores

Se realizó un promedio de la temperatura registrada cada hora durante los quince (15) días, de igual modo se promedió la temperatura registrada por la plataforma SISAIRE, donde se realizó un comparativo entre estas, evidenciando que la temperatura ambiente medida por nosotros entre 5:00 A.M y 6:00 P.M está por encima de la registrada por Corpocesar, esta situación es atribuida a las condiciones a las cuales están expuestas los termómetros; mientras el termómetro implementado para este proyecto estaba en condiciones de intemperie, normalmente las estaciones de medición meteorológicas cuentan con garitas de protección para los equipos de medición. Además el registro horario por las estaciones de monitoreo cuenta con un estimativo de mediciones realizadas en distintos puntos de Valledupar y no específicamente en la zona donde se implementó el proyecto.

Para evaluar el aislamiento térmico se tomaron mediciones de temperatura en las tres casas prototipo, la primera utilizando cubierta verde *Diez del Día*, la segunda utilizando *Pasto* y la tercera sin implementar cubierta verde, lo que arrojó la siguiente gráfica:



Gráfica 2. Comparativo de temperatura promedio implementando cubiertas verdes julio 11 al 30 de julio 2018.

Fuente: Autores

En la gráfica anterior se aprecia que las curvas donde se implementó cubierta verde, la temperatura se encuentra por debajo de la temperatura ambiente y de la casa sin implementar esta ecotecnología, durante los intervalos correspondientes entre las 7:00 y 16:00 horas, mostrando una mayor reducción de temperatura de hasta 4,6 °C en la máxima hora de incidencia solar (14:00 horas); mostrando una relación de aislamiento térmico directamente proporcional a la temperatura al implementar cubiertas verdes. En los intervalos de poca o nula incidencia solar, correspondientes entre las 17:00 y 6:00 horas, el comportamiento de la curva de

temperatura ambiente con respecto a las curvas de las casas con cubiertas verde y sin ella, se encuentra por debajo con una diferencia de hasta $0,78^{\circ}\text{C}$, reflejando una conservación de calor en el interior de las casas con cubiertas en horas de la noche.

Al analizar y hacer un comparativo entre el comportamiento de las curvas de las cubiertas verdes, la cubierta verde con *Pasto* refleja mejores resultados de aislamiento térmico con respecto a la cubierta verde con *Diez del Día*, con una diferencia de hasta $1,36^{\circ}\text{C}$, en el máximo de incidencia solar (14:00 horas).

CONCLUSIÓN

- Las plantas *Diez del Día* (*Portulaca Grandiflora*) y *Pasto* (*Zoysia Japonica*), implementadas en la cubierta verde mostraron resultados óptimos para ser en este tipo de ecotecnología, cumpliendo con los criterios de crecimiento superficial, raíz superficial, bajo mantenimiento, resistencia a las sequias y plantas de peso ligero.
- Se optó por sustratos de abonos orgánicos, ya que garantizaron mejores resultados que los abonos inorgánicos, la mezcla 6 (35% abono quemado, 35% abono de río y 30% de cascarilla de arroz), permitió conservar las características estéticas de las plantas y aumentar el crecimiento. La selección de 7 cm de espesor, permitió el correcto desarrollo de las raíces de las plantas. Con este espesor y el uso recomendado de adicionar una tercera parte cascarilla de arroz en el sustrato para logró un correcto drenaje y aligerar notoriamente el peso de la cubierta verde con lo que se evitó cargas excesivas en los puntos de apoyo en la edificación, pasando de un rango de peso de cubiertas extensivas de 60 – 120 Kg/m² (Stovin et al., 2007) a un peso de 25 - 33.04 Kg/m².
- Es necesario implementar períodos de adaptación de las plantas con los sustratos en invernaderos, durante los primeros 15 días, de modo que se minimizan los efectos de shock de trasplante y se evita la exposición directa a la radiación solar y prolongada, fortaleciendo el sistema radicular de las plantas durante este periodo para poder ser expuestas a las condiciones meteorológicas (radiación solar directa, altas temperaturas, vientos) de las cubiertas verdes.
- Directamente no se puede implementar una sistema de cubierta verde sobre tejas o láminas de fibrocemento, ya que no están fabricadas trabajar con exposición de peso y humedad, por lo que se planteó un sistema fuera de lo convencional de la cubiertas verdes, y se elaboró una estructura de soporte

en hierro en forma de parrilla con puntos de apoyos en las columnas que esta sobre la cubierta de la casa prototipo, de modo que permitía introducir las canastas que contenían la vegetación y sustrato, facilitando el sistema de instalación de la cubierta verde por módulos.

- Durante los primeros cinco (5) días donde no se implementó riego en las cubiertas verdes, se evidenció marchitamiento y decoloración en las plantas por esta razón fue necesario implementar riegos, lo que permitió recuperar el aspecto y vitalidad de las plantas, de esta manera se obtuvo que al finalizar el periodo de evaluación de la cubierta verde durante quince días, las plantas se encontraron en condiciones óptimas.

Luego de tomar mediciones durante el periodo de quince (15) días, se logró una reducción de temperatura de hasta de 4 °C implementando la cubierta verde con *Pasto* y una reducción de hasta 3 °C implementando cubierta verde con *Diez del Día*, durante las horas de mayor incidencia solar con respecto a la temperatura registrada del ambiente y de la casa sin implementar esta ecotecnología, mostrando mejores resultados de aislamiento térmico la cubierta verde con *Pasto*.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar de forma más amplia opciones de implementar otros tipos de plantas para las cubiertas verdes en regiones de clima cálido.
- Se debe tener en cuenta implementar un sistema de riego en los techos verdes, ya sea por goteo y con reciclaje de aguas para zonas de periodos muy cortos de invierno y de alta incidencia solar. Los riegos deben realizarse preferiblemente en horas de la tarde.
- Para futuras implementaciones en edificaciones reales se recomienda realizar un estudio estructural para el sistema de soporte de la cubierta verde.
- Consultar en los mercados, materiales menos costosos y más livianos para futuras investigaciones en la implementación de cubiertas verdes.
- Se recomienda investigar jardines verticales para conocer sus potenciales beneficios.
- Crear leyes que incentiven a la investigación y construcción de cubiertas verdes, con el fin de la conservación de áreas verdes en zonas urbanas.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	TIEMPO EN SEMANAS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
PRESELECCIÓN DE LAS PLANTAS LOCALES PARA LA CUBIERTA VERDE	■	■	■									
DISEÑO DEL SUSTRATO Y SELECCIÓN DEL ESPESOR APROPIADO PARA EL DESARROLLO DE LA PLANTA				■	■							
ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS AL SUSTRATO						■	■	■	■			
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA								■	■			
EVALUACIÓN DE LA CUBIERTA VERDE Y EL EFECTO DE AISLAMIENTO TÉRMICO DE LOS SISTEMAS										■	■	

PRESUPUESTO

COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDADES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Modelos de casa de prueba	Unid	3	\$189.500	\$568.500
2	Sistema de medición (Termómetros)	Unid	1	\$280.000	\$280.000
3	Cubierta verde tipo extensiva	M ²	2	\$35.400	\$70.800
4	Estructura de soporte cubierta verde tipo extensiva	Unid	2	\$35.766	\$71.532
5	Personal Auxiliar	Asesorías	2	\$1.400.000	\$1.400.000
6	Ingeniero Asesor	Asesorías	1	\$2.400.000	\$2.400.000
TOTAL COSTO DIRECTO					\$4.790.832
COSTOS INDIRECTOS DEL PROYECTO					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDADES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Papelería, edición de documentos	Unid	1	\$45.000	\$45.000
2	Transporte	Unid	24	\$4.000	\$96.000
TOTAL COSTO INDIRECTOS					\$141.000
TOTAL COSTOS PROYECTO					\$4.931.832

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams, P. (2004). Jardines colgantes arquitectura del paisaje urbano. Editorial Loft, Barcelona, España, 8-14pp.

Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2009. Construcción Sustentable: Del gris al verde. Promoción de cubiertas verdes en la Ciudad de Buenos Aires. Agencia de Protección Ambiental. Buenos Aires. 18 p.

Barrios, M. (22 de mayo de 2014). Crecimiento de la construcción se dinamiza en Valledupar, asegura consultor del POT. El Heraldo. Recuperado de <https://www.elheraldo.co/economia/crecimiento-de-la-construccion-se-dinamiza-en-valledupar-asegura-consultor-del-pot-153292>

Bartfelder, F. y Kóhler, M. (1986). Stadt-klimatische und lufthygienische Entlastungseffekte durch Kletterpflanzen in hochbelasteten Innenstadtbezirken. Verh. d. Gesellschaft f. Ökologie, Gieben 1986 Band XVI.

Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (eds.). 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co> Carroll, N. (2010). The Thermal and Rainwater Runoff Performance of an Extensive Green Roof System. Glasgow: Universidad de Strathclyde

Construction Industry Research and Information Association CIRIA. (2007). The SuDS manual. Londres: CIRIA

Dearkitectura. (2014). ¿Qué es un Techo Verde?. Recuperado de <http://dearkitectura.blogspot.com.co/2012/06/que-es-un-techo-verde.htmlfc>

De Pombo J. y González, D. (2016). Evaluación del efecto térmico y captación de escorrentía producida por una planta piloto de techo verde. Tesis de Ingeniería civil. Universidad de Cartagena.

De Rhodes, M. (2012). Implementación de un modelo de techo verde y su beneficio térmico en un hogar de Honda, Tolima (Colombia). Tesis de Ecología. Pontificia Universidad Javeriana.

Ecohabitar. (08 de mayo de 2016). Jardines en movimiento, el innovador proyecto de Marc Grañén. Recuperado de <http://www.ecohabitar.org/tag/techos-verdes/>

Garmendia, A. et al (2005). Evaluación de Impacto Ambiental. Madrid (España). Editorial PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

Di Costa, G. (Ed.) (2013) Terrazas verdes. Beneficios económicos, ambientales y sociales. Entre planos. La nueva construcción para arquitectos de vanguardia, 41, 20-21. (Está indicando: Volumen 41, de la página 20 a la 21).

Forero C. (2011). Ecotechos productivos para mejorar condiciones de habitabilidad y del cambio climático. Tesis de Ecología. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

García, I., (2010). Beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones. SNES-ABC, 22.

Gernot, M. (2004). Techos Verdes; Planificación, Ejecución, Consejos Prácticos. Montevideo, Uruguay. Editorial Fin de Siglo

Ibáñez, A. (2008). Techos vivos extensivos: Una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia. Alarife. Revista de arquitectura 16. Recuperado el 11 de

Abril de 2016.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3195349>

Restrepo, J. (2007). Manual práctico El A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas. 1a ed. -- Managua: SIMAS, 262 pg.

López, M. (2010). Un acercamiento a las Cubiertas Verdes. F.B.P S.A. Medellín.

Lótsch, B. (1981). Stadtklima und Grün, en Andrtzky, Spitzer (ed.): Grün in der Stadt. Reinbek, pág. 134-153

Pérez, G. (2004). ¿Cómo construir un techo verde? Recuperado de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia59/HTML/Articulo04.htm>

Ramírez, A. et al (2016). Plan de Desarrollo Municipal de Valledupar 2016 – 2019. Recuperado de <http://camacol.co/sites/default/files/VALLEDUPAR-Avanza-VERSION-DEFINITIVA-ACUERDO-001-DE-2016.pdf>

Secretaría Distrital de Ambiente. (2014). Techos Verdes y Jardines Verticales. Una piel natural para Bogotá. Bogotá D. C: Alcaldía Mayor de Bogotá.

Secretaria Distrital de Ambiente. (2011). Guía de Techos Verdes en Bogotá. Bogotá D.C: Alcaldía Mayor de Bogotá.

Servicio de Jardines UGR. (2014).ESTUDIO TÉCNICO DE UN TECHO VERDE. Universidad de Granada UGR. Recuperado de <http://www.ugr.es/~ufut/downloads/EST.TECNICO%20TECHO%20VERDE.pdf>

Valbuena, S. y Tibasosa, A. (2016). Estudio de pre-factibilidad técnica, ambiental y económica para la implementación de terrazas verdes en el Centro Empresarial La Castellana de Bogotá. Tesis de Administración Ambiental. Universidad Distrital Francisco José De Caldas.

Valledupar. (08 de mayo de 2017). La enciclopedia libre. Fecha de consulta: 11:35, mayo 10, 2017 de <https://es.wikipedia.org/wiki/Valledupar>

Velázquez, R. (01 de septiembre de 2013). Las ciudades y sitios más calientes de Colombia. El Universal., Recuperado de <http://www.eluniversal.com.co/ambiente/las-ciudades-y-sitios-mas-calientes-de-colombia-133186>

Yeomans, F. Almada, D. y Martínez, R. (2013). Evaluación de los efectos de techo verde en el nivel de confort térmico en vivienda de interés social. Proyecto de Desarrollo e innovación de procesos y tecnologías en Vivienda. Tecnológico de Monterrey.

ANEXOS

ANEXO 1. Encuesta de determinación de los criterios de selección.

ENCUESTA

FECHA: _____
 NOMBRE: _____
 PROFESIÓN: _____

Buenos días señor(a), inicialmente agradecemos su colaboración en esta encuesta de calificación que busca organizar de acuerdo a su opinión y conocimiento los criterios que serían de gran fundamentación al momento de seleccionar una especie de planta para ser adaptada a una cubierta verde en la ciudad de Valledupar, dando así usted un gran aporte para el proyecto "Diseño y evaluación de cubiertas verdes con plantas locales en la ciudad de Valledupar (cesar)", que busca incentivar el uso de cubiertas verdes por sus beneficios:

- Aislamiento térmico en las viviendas.
- Mejora en la calidad del aire.
- Aporta áreas verdes en las ciudades.
- Aporte a la conservación de la biodiversidad.



Fig. 1. Vivienda con cubierta verde



Fig. 2. Esquema de una cubierta verde

Exponemos una serie de criterios que debería cumplir una planta para ser implementada en una cubierta verde. Usted organizara de acuerdo a su conocimiento u opinión de 1 a 10, siendo 10 el más importante, 9 al siguiente y 1 al menos importante entre los criterios. Ningún criterio podría tener igual valor que otro.

EJEMPLO

IMP	CRITERIO
1	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.
4	Raíz superficial.
5	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).
2	De alta resistencia a la plagas.
7	Valor estético.
6	Resistentes a las sequias (capacidad de resiliencia).
8	Planta de peso ligero.
10	Color prolongado de las hojas (siempre verde).
9	Espacios no propicios para animales como aves, roedores, felinos, etc.
3	Rápida colonización.

IMP	CRITERIO
	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.
	Raíz superficial.
	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).
	De alta resistencia a la plagas.
	Valor estético.
	Resistentes a las sequias (capacidad de resiliencia).
	Planta de peso ligero.
	Color prolongado de las hojas (siempre verde).
	Espacios no propicios para animales como aves, roedores, felinos, etc.
	Rápida colonización.

¡Gracias por su aporte!

ENCUESTADO	CRITERIO DE SELECCIÓN																										SUMA ()	PESOS				
	ARQ. HECTOR CALIZ M.	ING. YEIMISO GAMEZ C.	ING. YULBREYNERPASTRANN.	ING. JOSE CARLOS SANCHEZ P.	ARQ. DAIRO CAMPO O.	ARQ. CLAUDIO MARTINEZ D.	ING. ERNESTO MUNIVE M.	ING. FABIO DURANGO D.	ING. YIM RODRIGUEZ D.	ARQ. ALEXANDER COSTA S.	ING. ELENA GONZALEZ V.	ARQ. JOSE JAVIER OROZCOO.	ARQ. JAIME CASTELLAR V.	ARQ. ALFONSO RIVEROR.	ING. ANTONIO PASTRANAN.	ARQ. SANTANDER BELEÑOP.	ARQ. ESPERANZA CHARRY M.	ARQ. ALFONSO MONSALVO R.	ARQ. RUBEN DARIO CARRILLO G.	ING. MILCIADES SOTO.	ING. BERTO ORTEGA S.	ING. ALVARO MEJIA.	ING. MARLYNG MORENO A.	ING. WILLIAM MEJIA O.	ING. LUIS GUERRA L.	ARQ. AUGUSTO OROZCOS.			ARQ. MIGUEL SANGUINO G.	ARQ. JORGE GOMEZ P.	ING. ANGEL DAVID POLOC.	ARQ. CARLOS GARCIA A.
Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	2	8	7	1	4	5	10	3	10	4	9	9	3	9	6	9	9	10	5	8	6	3	4	2	10	2	9	5	6	6	184	0,112
Raíz superficial.	4	9	4	9	9	7	9	4	3	6	5	5	5	10	5	10	8	9	6	9	10	4	5	4	9	1	10	7	7	8	201	0,122
Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	10	5	8	7	10	4	8	9	9	7	3	7	10	8	4	1	7	8	9	5	5	8	3	3	8	4	8	8	8	10	204	0,124
De alta resistencia a la plagas.	9	7	9	6	5	3	6	7	4	5	7	3	6	2	3	2	5	7	7	4	9	7	7	9	7	5	6	3	4	3	167	0,101
Valor estético.	3	2	2	3	2	1	3	2	2	2	1	8	9	7	2	3	1	6	1	2	2	2	2	5	5	3	2	1	2	4	90	0,055
Resistentes a las sequias (capacidad de resiliencia).	8	10	10	5	8	10	7	10	8	10	8	10	7	6	10	4	10	5	10	3	8	10	6	6	3	10	5	10	10	9	236	0,143
Planta de peso ligero.	7	4	6	8	7	6	4	8	7	9	6	6	8	5	9	6	4	4	4	10	1	6	10	10	6	8	7	6	9	5	196	0,119
Color prolongado de las hojas (siempre verde).	6	1	3	2	1	9	5	1	5	3	4	4	4	4	8	5	6	3	2	1	7	1	1	7	4	9	1	4	3	2	116	0,070
Espacios no propicios para animales como aves, roedores, felinos, etc.	1	6	5	10	3	2	1	6	6	1	10	2	2	3	1	8	3	2	3	7	4	9	9	8	2	7	4	9	5	1	140	0,085
Rápida colonización.	5	3	1	4	6	8	2	5	1	8	2	1	1	1	7	7	2	1	8	6	3	5	8	1	1	6	3	2	1	7	116	0,070
																															1650	1,00

ANEXO 2. Análisis de la encuesta selección de criterios.

ANEXO 3. Encuesta selección de plantas.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**

ENCUESTA
FECHA: _____
NOMBRE: _____
PROFESIÓN: _____

Buenos días señor(a), inicialmente agradecemos su colaboración en esta encuesta que busca seleccionar a partir de su conocimiento y experiencia, una especie de planta que cumpla con algunos de los criterios de fundamentación de especies que pueden ser implementadas en una cubierta verde para la ciudad de Valledupar, dando así usted un gran aporte para el proyecto "Diseño y evaluación de cubiertas verdes con plantas locales en la ciudad de Valledupar (cesar)".


Fig. 1. Vivienda con cubierta verde

En la tabla 1. Se expone en la fila inicial una variedad de plantas que por bibliografía y de acuerdo a nuestra investigación, se ha determinado como selecta para ser implementada en este proyecto. En la primera columna encontrará un grupo de criterios de fundamentación que deben cumplir las especies que van a ser implementadas en una cubierta verde. Usted de acuerdo a su conocimiento y/o experiencia determinará si la planta selecta cumple con el criterio, calificando en una jerarquía de 5 a 1, siendo 5 que cumple totalmente con el criterio, 4 al siguiente y así sucesivamente hasta llegar a 1 que no cumple con el criterio establecido. Los criterios podrían tener igual valor en las plantas si usted considera que estas son óptimas para ser implementadas, es decir para un criterio todas las plantas podría cumplir eficientemente, de igual modo para una misma planta esta podría cumplir con todos los criterios.






EJEMPLO

CRITERIO	PLANTAS PRESELECCIONADAS				
	ABROJO (Tribulus terrestres)	VERDOLAGA (Portulaca Oleracea)	DIEZ DEL DIA (Portulaca grandiflora)	PASTO (Zoysia japónica)	MANI FORRAJERO (Arachis pintoi)
Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	5	5	5	5	5
Raíz superficial.	4	5	5	4	3
Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	5	5	4	5	4
Resistentes a las sequías (capacidad de resiliencia).	5	5	3	5	1
Planta de peso ligero.	5	5	2	5	5

CRITERIO	PLANTAS PRESELECCIONADAS				
	 ABROJO (Tribulus terrestres)	 VERDOLAGA (Portulaca Oleracea)	 DIEZ DEL DIA (Portulaca grandiflora)	 PASTO (Zoysia japónica)	 MANI FORRAJERO (Arachis pintoi)
Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.					
Raíz superficial.					
Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).					
Resistentes a las sequías (capacidad de resiliencia).					
Planta de peso ligero.					

¡Gracias por su aporte!

ANEXO 4. Análisis de la encuesta selección de plantas.

PLANTAS PRESELECCIONADAS	CRITERIO	ENCUESTADO																				SUMA	SUMA TOTAL	PESO										
		VIV. EDELMINA HERNANDEZ	VIV. WENDY ESTRADA	ING. NICOLAS MARTINEZ	VIV. WILLIAMS GIRALDO	VIV. ABEL CORONEL	VIV. DULMA CARDENAS	VIV. SANDRA GIRALDO	VIV. EBERTO OLIVO	VIV. TOBIAS VILLERO	VIV. LEYLI SIERRA	JARD. GREGORIO SANCHEZ	VIV. CARLOS LONDOÑO	VIV. JIMYS BARON	VIV. OCTAVIANA ROMERO	VIV. JUAN PACHECO	VIV. LUIS POVEA	VIV. CARLOS BARON	VIV. JUAN E. MUNIVE	VIV. EULISES ACUÑA	VIV. JUAN J. MUNIVE				VIV. JESUS VILLALBA	VIV. FRANCISCO CATIÑO	VIV. LINA MORA	VIV. EINER VEGA	VIV. JUAN BARON	VIV. EDWIN ESPAÑA	VIV. NURIS BLANCO	VIV. RAFAEL ESTRADA	VIV. TOBIAS REALES	VIV. ANA MARIA MERCADO
 ABROJO (Tribulus terrestris)	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	4	1	5	1	1	4	1	1	5	5	1	5	5	5	1	4	5	4	1	5	5	5	5	4	4	3	4	3	5	1	103	530	0,1944
	Raíz superficial.	4	1	5	2	1	4	1	2,5	4	2	1	4	2	2	1	3	3	5	1	4	4	3	3	2	2	4	3	2	3	1	79,5		
	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	4	1	2	4	1	4	1	1	5	5	1	5	5	4	1	5	5	3,5	1	6	3	3	5	5	5	5	5	2	4	1	101,5		
	Resistentes a las sequías (capacidad de resiliencia). Planta de peso ligero.	5	2	4	5	5	4	5	5	5	5	2	5	5	4	2	5	5	5	2	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	3	130		
 PORTULACA (Portulaca Oleracea)	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	4	3	5	2	2	4	4	4	5	5	2	5	5	3	3	5	5	3,5	2	5	5	5	5	3	5	2	4	5	3	114,5	531	0,1947	
	Raíz superficial.	4	1,5	5	5	2	4	3	3	4	5	1	5	3	3	1	4	4	5	2	5	5	4	5	5	5	2	4	4	3	108,5			
	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	3	1,5	5	3	1	4	5	4	4	5	2	3	2	3	1	5	4	3,5	2	5	3	3	5	4	4	4	4	3	3	100			
	Resistentes a las sequías (capacidad de resiliencia). Planta de peso ligero.	3	2	5	2	5	4	4	2	4	5	1	3	2	3	3	5	3	4	1	5	2	4	4	3	4	5	3	2	3	98			
 DIEZDEL DÍA (Portulaca grandiflora)	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	3	5	5	2,5	5	4	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	3,5	4	5	5	5	5	4	5	4	5	4	4	4	134	604,5	0,2217	
	Raíz superficial.	4	4	5	5	4	4	5	3	4	5	5	5	3	4	5	5	5	4	5	5	4	5	3	5	5	5	4	4	5	134			
	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	3	5	5	2	3	4	5	4	4	2	2	4	2	2	4	5	5	2,5	5	5	4	3	5	4	4	2	5	4	3	110,5			
	Resistentes a las sequías (capacidad de resiliencia). Planta de peso ligero.	3	4	5	3	1	4	5	2	5	2	3	3	2	2	2	5	3	3,5	4	3	3	4	4	4	4	1	4	3	3	98,5			
 PASTO (Zoyisia japónica)	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	5	5	5	3	5	4	5	2,5	3	2	4	3	5	4	5	2	4	4,5	4	5	2	5	4	5	1	1	4	5	4	116	531,5	0,1949	
	Raíz superficial.	5	5	3	1	5	4	5	2,5	2	5	5	5	4	4	5	5	2	3,5	4	5	5	4	2	4	4	3	4	4	5	119			
	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	2	4	3	3	2	3	2	3	5	2	5	3	5	4	4	3	4	1	5	4	1	3	2	2	3	4	3	4	2	96			
	Resistentes a las sequías (capacidad de resiliencia). Planta de peso ligero.	1	5	2	4	1	4	1	3	5	2	5	2	5	4	5	2	5	2	5	3	2	5	2	3	2	4	2	5	2	98			
 MANI FORRAJERO (Arachis pintoi)	Crecimiento superficial, entre 10 y 30 cm de altura de las plantas.	3	3	5	5	5	4	5	3	3	5	2	4	5	4	2	5	5	5	4	4	3	5	5	5	4	5	3	5	4	123	530	0,1944	
	Raíz superficial.	4	1	5	5	5	4	5	3	4	5	2	5	4	3	3	5	3	2	1	3	3	4	3	3	4	5	4	4	3	106			
	Bajo mantenimiento (requerimientos de poda, fertilizantes y riego).	3	2	5	3	5	4	2	3	5	3	1	3	4	3	3	5	4	1	2	3	2	3	4,5	4	4	5	3	4	2	97,5			
	Resistentes a las sequías (capacidad de resiliencia). Planta de peso ligero.	3	3	5	4	3	4	1	3	5	2	1	3	4	3	2	3	5	3,5	1	3	1	4	3	2	4	4	2	5	3	90,5			
		4	3	5	5	4	4	5	4	4	5	3	3	5	3	1	5	5	2	3	3	5	4	4	3	5	3	4	4	3	113	2727		

ANEXO 5. Proceso constructivo de los Módulos de Cubiertas Verdes



*Base, Capa drenante
y membrana antiraíz*



*Aligerante para reducción
de espesor*



Capa drenante



Membrana antiraíz



Preparación de sustrato



Trasplantación y siembra

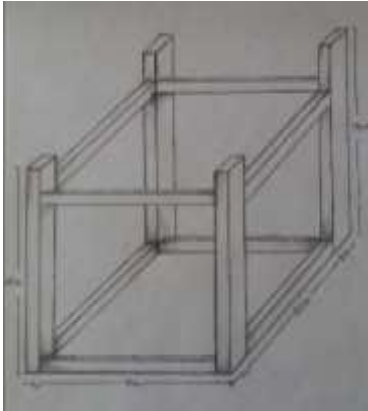


Trasplantación y siembra



Modulo de Cubierta Verde

ANEXO 6. Proceso constructivo del prototipo de una casa



Esquema estructural



Construcción madera



Instalación de paredes



Sistema constructivo etapas



Parrilla del sistema



*Sistema completo de prototipos
de casas*

**Anexo 7. Cotización de cubierta verdes extensiva en ECOURBANO para la
Universidad Nacional de Colombia sede Valledupar**


Cotización de cubierta verde tipo extensiva (Diseño, Suministro e Instalación)					
Nombre del Proyecto:	CUBIERTA VERDE DE TIPO EXTENSIVA	Ingeniero responsable:	Alfonso Amarís Maestre		
Localización:	Nueva Sede Universidad Nacional De Valledupar	Cargo:	Gerente		
Área:	4335 M ²	Celular:	310-6585683		
Fecha:	27 – Enero – 2016	Email:	Alfonso_a_maris@hotmail.com		
CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	UNIDADES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
2.0	CUBIERTA VERDE EXTENSIVA: Proyecto cubierta verde tipo extensiva, incluyendo diseño y selección de especies vegetales, según las necesidades del cliente.	4335	M2	1	\$ 4.000.000
2.1	Suministro e instalación de geotextil para proteger la capa de impermeabilización	3686	M2	\$ 3.800	\$ 14.006.800
	Suministro e instalación de lamina drenante para cubierta verde tipo extensiva según especificaciones del diseño.	3047	M2	\$ 14.000	\$ 42.658.000
	Suministro e instalación de perfiles separadores de gravilla	224	Unid	\$ 12.000	\$ 2.688.000
	Formulación y suministro de sustrato para cubierta verde tipo extensiva	244	M3	\$ 170.000	\$ 41.480.000
	Suministro de gravilla	60	M3	\$ 110.000	\$ 6.600.000
	Suministro de plantas según especificaciones del cliente	3047	M2	\$ 16.000	\$ 48.752.000
	Diseño e instalación del sistema de riego	6	Unid	\$ 3.000.000	\$ 18.000.000
Subtotal					\$ 178.184.800
Iva 16%					\$ 28.509.568
COSTO TOTAL					\$ 206.694.368

Términos y Condiciones

- ❖ No incluye obra civil necesaria para la colocación de elementos de riego si fuera necesaria (apertura de hoyo, preparación relleno del mismo, apertura de zanjas de tubería, etc)
- ❖ No incluye obra de preparación de la zona, impermeabilizaciones ajenas al sistema, cimentaciones, ni encuentros perimetrales.
- ❖ No incluye repuestos o cambios de equipos del sistema de riego.
- ❖ Incluye 1 Visita de inspección posterior al mes de finalización de obra.
- ❖ Tiempo de ejecución 90 días, no incluye jornales nocturnos ni festivos.
- ❖ Forma de pago: **50% DE ANTICIPO, 30% AVANCE A PARTIR DE SEGUNDO MES, 20% A CONTRAENTREGA.**
- ❖ **NO INCLUYE MEDIOS DE ELEVACIÓN DEL SUSTRATO Y LA GRAVILLA.**