



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES, PROGRAMA ESPECIAL DE
TITULACIÓN

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUAS
LLUVIAS POR MEDIO DEL USO DE CUBIERTAS VEGETADAS
APLICADAS PARA LA CIUDAD DE CUENCA - ECUADOR**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
"MAGISTER EN CONSTRUCCIONES"

AUTOR: ARQ. PATRICIO ESTEBAN CLAVIJO GAIBOR
C.I.: 010355144-6

DIRECTOR: DR. ARQ. ESTEBAN FELIPE ZALAMEA LEÓN
C.I.:010212595-2

ECUADOR, CUENCA 2017

REF
SU
MEN

El crecimiento de las poblaciones urbanas lleva a la expansión y transformación de las ciudades provocando cambios irreversibles al medio ambiente, un desarrollo que es provocado debido al incremento poblacional y demandando un consumo del 40% de las emisiones atmosféricas.

Eventos pluviales causan en consecuencia problemas por la impermeabilización de las áreas urbanas. En la ciudad de Cuenca el crecimiento habitacional tiene un promedio de superficie aprobada igual a 680,70m²/mes de los cuales 231,30m²/mes son aprobadas y corresponden solo a nivel de planta baja, superficie que impermeabilizará la capa vegetal y cuya tendencia a impermeabilizar área verde para el 2030 es de 136,52ha. El objetivo de este trabajo es cuantificar la cantidad de agua lluvia retenida en el sustrato y buscar alternativa para alivianar el peso del sustrato en estado saturado; captado por una cubierta vegetada (parcelas de ensayo que simulen cubiertas verdes).

La metodología aplicada es de carácter experimental con la que se determina un análisis de la información recaba, así como también la construcción de 4 parcelas de ensayo de las cuales 1 parécela servirá de testigo y 3 utilizarán únicamente Pennisetum clandestinum (Kikuyo) como capa vegetal las mismas que serán plantadas sobre un sustrato ideal utilizando entre sus componentes 3 materiales alivianadores; estarán expuesta al intemperie y servirán para tomar datos de escorrentía y retención de agua lluvia. Se determinó que un sustrato mezclado con piedra pómez y con 20cm de alto, en estado seco, alcanza un peso igual a 120,60Kg/m² y en estado húmedo hasta 142,91Kg/m² y reteniendo hasta el 17.74% para valores de escorrentía de 23.04mm.

Palabras clave:

Cubiertas verdes, cubiertas vegetadas, green roofs, escorrentía, rendimiento de cubiertas verdes, precipitación, sustrato, parcelas de ensayo

ABSTRACT

Introduction. The growth of urban populations leads to the expansion and transformation of cities causing irreversible changes to the environment. A growth provoked by the industries demanding a consumption of 40% of atmospheric emissions. By consequence, events of rain get to cause problems because of the waterproofing among urban areas. In Cuenca city, the housing growth has an average of 680.70m² / month, where 231,30m² / month are approved and correspond only to the ground floor level, surface that will waterproof the vegetal layer and whose tendency to waterproof green areas by 2030 will be 136.52ha. (Objective) The objective of this job is quantifying the amount of rainwater retained in the substrate and find an alternative to lighten the overall weight of the substrate in a saturated state; Captured by a vegetation cover (test plots simulating green roofs). (Methodology) The applied methodology has an experimental nature with which an analysis of the information collected is determined, as well as the construction of 4 test plots from which 1 will be used as a witness and 3 will use only *Pennisetum clandestinum* (Kikuyo) as vegetal layer which will be planted on an ideal substrate using among its components 3 lightening materials; They will be exposed to the outdoor and will be used to collect data of runoff and rainwater retention. (Results) As a result, it was determined that a substrate mixed with pumice and 20 cm high, in dry state, reaches a weight equal to 120.60 kg / m² and in wet state up to 142.91 kg / m² and retaining up to 17.74% for runoff values of 23.04mm.

Keywords

Green roofs, vegetation cover, runoff, yield of green roofs, precipitation, substrate, test plots

CEDNE

1 CAPÍTULO UNO

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	21
1.1.1 PÉRDIDA DE ÁREA VERDE	21
1.1.2 DETERMINACIÓN DE RELACIÓN DIRECTA ENTRE EROSIÓN Y PERMEABILIDAD DE SUELO	25

2 CAPÍTULO DOS: OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

2.1 HIPÓTESIS	29
2.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	29
2.2.1 OBJETIVO GENERAL	29
2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29

3 CAPÍTULO TRES METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA	33
3.1.1 PLAN DE TRABAJO	33
3.1.2 BENEFICIARIOS	34

4 CAPÍTULO CUATRO. ESTADO DEL ARTE

4.1 INTRODUCCIÓN	39
4.2 HISTORIA DE LAS CUBIERTAS VERDES	40
4.2.1 SISTEMAS METODOLÓGICOS DE EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD	44
4.2.2 ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA	45
4.2.3 HERRAMIENTAS DE DISEÑO O EVALUACIÓN	46
4.2.4 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CUBIERTA VERDE	46
4.2.5 IMPERMEABILIZACIÓN	46
4.2.6 SISTEMAS DE RIEGO	50
4.2.7 COSTOS DE INVERSIÓN	51
4.2.8 METODOLOGÍAS UTILIZADAS	51
4.3 DISEÑO DE CUBIERTAS VEGETADAS	54
4.3.1 CLASIFICACIÓN DE TECHOS VERDES	55
4.3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	55
4.3.3 RENDIMIENTO DE RETENCIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN LAS CUBIERTAS VERDES	56
4.3.4 RENDIMIENTO DE LAS CUBIERTAS VERDES CON DESCARGA MÁXIMA DE AGUAS LLUVIAS	57
4.3.5 RENDIMIENTO DE LAS CUBIERTAS VERDES EN EL TIEMPO DE DETENCIÓN E AGUAS LLUVIAS	57
4.4 NORMATIVA INTERNACIONAL QUE APLICA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO	57
4.4.1 NORMAS ASTM	57
4.4.2 NORMAS ISO	58
4.4.3 NORMA EUROPEA	58
4.4.4 NORMA LATINOAMERICANA	58
4.4.5 NORMAS NACIONALES	59
4.5 TIPOS DE CUBIERTAS VERDES	59
4.5.1 CUBIERTAS VERDES EXTENSIVAS	59
4.5.2 CUBIERTAS VERDES INTENSIVAS	60
4.5.3 CUBIERTAS VERDES SEMI INTENSIVAS	61
4.6 DATOS GENERALES DEL ÁREA DE INFLUENCIA	62
4.6.1 ÁREA DE ESTUDIO	62
4.6.2 CLIMA	62
4.6.3 BIOCLIMA	62
4.6.4 EROSIÓN	63
4.7 MATERIALES	63
4.7.1 IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LA VEGETACIÓN PARA LOS SISTEMAS DE CUBIERTAS VERDES	63
4.7.2 COMPOSICIÓN DE SUSTRATO	63
4.7.3 SELECCIÓN DEL MATERIAL Y TAMAÑO DE LAS PARCELAS DE ENSAYO	66
4.7.4 ESTABLECIMIENTO DEL ENSAYO A CAMPO	69

5 CAPÍTULO CINCO

RESULTADOS PARCIALES OBTENIDOS	75
5.1.1 DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA	75
5.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	76
5.2.1 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS	76
5.2.2 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS	76
5.3 RESULTADOS	76
5.3.1 RENDIMIENTO DE LA RETENCIÓN DE AGUAS LLUVIAS	81
5.3.2 DISCUSIÓN	83

6 CAPÍTULO SEIS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES	89
6.2 RECOMENDACIONES	89

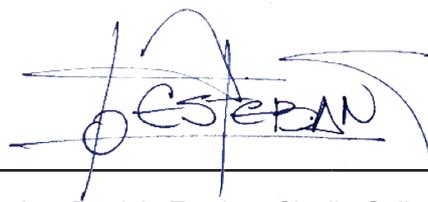
7 BIBLIOGRAFÍA

8 ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	100
9 ÍNDICE DE TABLAS	102

● CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL ●

Patricio Esteban Clavijo Gaibor, autor del Trabajo de Titulación “DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUAS LLUVIAS POR MEDIO DEL USO DE CUBIERTAS VEGETADAS APLICADAS PARA LA CIUDAD DE CUENCA”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca 1 de diciembre del 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'P. ESTEBAN', is written over a solid horizontal line. The signature is stylized and somewhat abstract.

Arq. Patricio Esteban Clavijo Gaibor
C.I: 010355144-6

● CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN ● PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Patricio Esteban Clavijo Gaibor en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUAS LLUVIAS POR MEDIO DEL USO DE CUBIERTAS VEGETADAS APLICADAS PARA LA CIUDAD DE CUENCA - ECUADOR", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 1 de diciembre del 2017



Arq. Patricio Esteban Clavijo Gaibor
C.I: 010355144-6

● AGRADECIMIENTO ●

Agradezco en especial al ser superior que supo desde un principio que el Bing Bang dará inicio a nuestra galaxia.

Dio inicio a nuestro universo alrededor de un dios sol y creo la vida.

La evoluciono, produjo una descendencia. Unió a dos extraños que decidieron traerme al mundo, ellos mis; padres a quienes doy gracias por tenerme aquí.

Agradezco a mis hermanas por intentarme quitarme el tiempo y que casi lo lograron.

A mis abuelos por ser mucha de mi inspiración de superación.

A mis amigos que me dieron la mano cuando esta pareció perdido.

Gracias a todos los que colmaron mi paciencia por preguntaron insistentemente por mi tesis.

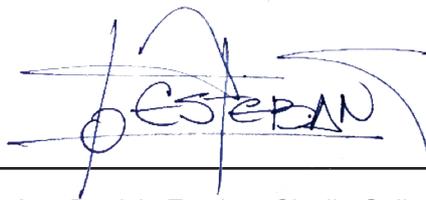
Gracias a mi director de tesis por su tenacidad al tratar de entender esas líneas

Gracias a mis profesores por su tiempo y conocimiento en las aulas.

En fin gracias a todos.

Patricio Esteban Clavijo Gaibor, autor del Trabajo de Titulación “**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUAS LLUVIAS POR MEDIO DEL USO DE CUBIERTAS VEGETADAS APLICADAS PARA LA CIUDAD DE CUENCA**”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de **Magister en Construcciones**. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca 1 de diciembre del 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'ESTEBAN', is written over a horizontal line. The signature is stylized and includes a large, sweeping flourish that extends to the right and then curves back down.

Arq. Patricio Esteban Clavijo Gaibor
C.I: 010355144-6

● DEDICATORIA ●

Dedico este pequeño paso de mi vida a mi reina chiquita, Luciana Rafaela, a ella que se durmió y despertó viéndome sentado frente al computador, y sin saber aún hablar muy bien; me decía: “¿TESIS PAPÁ...?”, gracias por tus palabras de apoyo mi amor. A mi esposa Julia por su paciencia, por su apoyo, por ayuda incondicional en estos momentos en de esfuerzo y dedicación, y gracias por su amor lleno de alegrías en los momentos más felices.

Perdón por lo que se sufrió hasta ahora, pero una sola recompensa habrá al final.

10
TICAP
LOP



1 CAPÍTULO UNO:

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN:

El crecimiento de las poblaciones urbanas lleva a la expansión y transformación de las ciudades, conduciendo a una sucesión de cambios irreversibles al medio ambiente (BARBOSA et al., 2013).

Éste crecimiento provoca un impacto directo de las industrias, así el sector de la construcción tiene un papel importante en la demanda de energía global y en los escenarios ambientales, siendo el responsable del 40% del consumo total de energía eléctrica, del 40% de las emisiones atmosféricas, del 30% del consumo de materias primas, y del 25% del agua (Diego y Hergueta 2007).

La falta de evotranspiración del suelo provocado por las edificaciones resulta en el denominado efecto: "Isla de Calor" que implica el aumento de la temperatura en zonas urbanas, potenciado por la acumulación de energía térmica en cubiertas de las casas y edificios, materiales que por lo general actúan como almacenamiento térmico. El efecto se acentúa en techumbres de asbesto cemento, hormigón, teja etc. A ello se suma el calor emitido por aires acondicionados que expulsan energía térmica interior, incrementando aún más el calor ambiental urbano.

De igual manera los ciclos pluviales son uno de los problemas relevantes asociados con las áreas urbanizadas, atribuyéndose este problema a la impermeabilización de áreas verdes, que provoca disminución en los porcentajes de filtración o evaporación, así como la disminución de los tiempos de concentración en las cuencas urbanas; por ende, un aumento en el índice de escorrentía.

Una cubierta tradicional constituye entre el 40% y el 50% del área de superficie impermeable, por lo tanto, las instalaciones de cubiertas vegeta-

das ofrecen una oportunidad considerable para mitigar los efectos de escorrentía de las aguas pluviales. El exceso de aguas lluvias, contribuye a una contaminación, a la erosión de arroyos, así como a los daños por inundaciones y en las infraestructuras derivadas de alcantarillados. (ETAPA-EP 2011)

Los problemas de las ciudades son una señal de alarma, indicio de una crisis más profunda que nos obligará a cuestionarnos los actuales modelos de organización y de desarrollo urbano.

Con el fin de encontrar una relación directa entre la cantidad de área verde impermeabilizada y la cantidad de sedimentos acumulados en las lagunas de oxigenación. (Francés y Bussi 2014) Se solicitó al Centro de Gestión Ambiental (CGA) de la empresa local ETAPA EP, el historial de las batimetrías registradas en las lagunas de oxigenación, a lo cual manifestaron que únicamente se cuenta con una batimetría del año 2012 y que actualmente no se realizaba dicha acción, por lo que no se puede determinar si existe la relación entre el área verde impermeabilizada de acuerdo a la cantidad de sedimentos segregados.

De igual manera manifestó el Ing. Luis Delgado; funcionario y encargado del manejo de residuos, que dicha relación no puede ser utilizada en este momento, debido que a la fecha el CGA, no tienen como método de control y el uso de batimetrías, luego que el sistema de alcantarillado es un sistema mixto (agua lluvia, aguas negras) por lo que la cantidad de sedimentos, son sedimentos que fueron arrastrados sin segregación. (Cárdenas 2017).

La ciudad es el principal centro de acción para la salvaguardia del medio ambiente urbano. Pero para poder obtener mejoras sensibles, será necesario actuar tanto a escala nacional como comunitaria, comparando las respectivas funciones y responsabilidades en un marco de cooperación. (Diego y Hergueta 2007).

Como una alternativa tendiente a promover los cambios descritos, este trabajo menciona



el estudio teórico y práctico de las “Cubiertas Verdes”, “Techos Verdes”, “Losas Vegetadas” “Green Roofs” o “sistemas de Drenaje Sostenible” (SUDS por sus siglas en inglés Sustainable Urban Drainage Systems), pues se trata de una opción utilizada para mejorar en eficiencia energética, entrega valor agregado, permite la creación de ambientes confortables con un aspecto natural y psicológico del usuario, promueve en general a un ambiente sostenible.

Estos techos requieren de tres factores: Periodo de Tiempo Seco Antecedente (ADWP) (Antecedent Dry Weather Period por sus siglas en inglés), tipo de vegetación utilizada y tipo de suelo utilizado, influyendo en la mitigación del escurrimiento de las aguas lluvias y determinando que las cubiertas con mayor sustrato, se traducen en volúmenes de escorrentía más bajos (Oviedo Escobar y Torres 2014).

Es así que, una cubierta vegetada puede retener entre 40% y 60% los niveles de escorrentía y 10% de sólidos, con una relación directa entre el ancho del sustrato y el tipo de vegetación utilizada (Oviedo Escobar y Torres 2014).

En la actualidad, muchas empresas, despachos arquitectónicos, arquitectos, ingenieros, constructores, etc., basan sus proyectos en ideologías conservacionistas del medio ambiente, implementando: métodos pasivos, métodos activos o híbridos.

Diseñadores y constructores como Tadao Ando, Ken Yeang, Hundertwasser, Norman Foster, Agence Babylone, Shigeru Ban, Ecosistema Urbano, entre muchos más han optado por estrategias de arquitectura ecológica, prefiriendo por el reciclaje y construcciones que sean auto-proveedoras para su autoconsumo energético e incluso alimentos, para mitigar su generación de carbono y consumo de recursos.

1.1.1 PÉRDIDA DE ÁREA VERDE:

Según el VII Censo de Población y VI de Vivienda de noviembre del 2010 por el INEC, la pobla-

ción en el cantón Cuenca fue de 505.585 habitantes, actualmente somos 410.495 habitantes asentados en la zona urbana, es decir el 65,6% se encuentran asentados sobre una extensión igual a 8.980 hectáreas; ahora bien, según una proyección de crecimiento realizada por el INEC, para el año 2030, la población para el área urbana alcanzaría los 491.715 habitantes, lo que significa un incremento al 67,45% aproximadamente, que se encontrarían ocupando la misma cantidad de extensión territorial. (GAD-Municipal-Cuenca 2011)

De acuerdo al Índice de Área Verde por habitante sugerido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece un valor de 9,00 m² de área verde por habitante, frente a ello la provincia del Azuay midió un índice de 5,98 m² / hab., según el último análisis del proyecto “CINTURON VERDE DE CUENCA” del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Cuenca, (ORTIZ ULLOA 2015).

Es decir que, de acuerdo a lo mencionado, debería lograrse una extensión de área verde para el 2030 igual a 674,61 hectáreas, y con un área impermeabilizada de 8305,39 hectáreas, sin embargo; los datos del estudio mencionado (ORTIZ ULLOA 2005), Cuenca hoy en día apenas tiene un área verde de 236,65 hectáreas, alcanzando solamente el 66,45% de la referencia; y posee además 8743,35 hectáreas recubiertas de materiales no permeables, tales como hormigón, asfalto y demás recubrimientos.

Desde el 2012 hasta el 30 de junio del 2017, se han emitido 14449 permisos autorizados de “construcción mayor” (permisos que emite el GAD Cuenca para edificaciones de más de 50,00m²) para usos: residenciales, industriales y demás; de los cuales 10829 permisos corresponden al casco urbano siendo el 74,95%. (ver tabla 1) (Cuenca Municipio 2017).



NUMERO DE PERMISOS DE CONSTRUCCION MAYOR

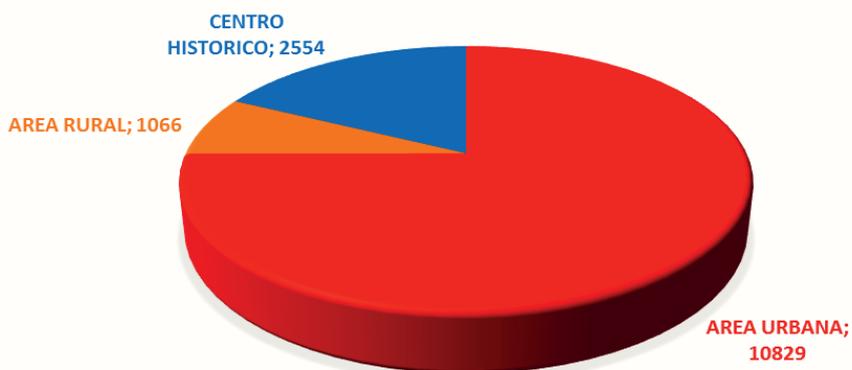


Tabla 1. PERMISOS DE CONSTRUCCION MAYOR EMITIDO DESDE 2014 AL 2017 (FUENTE DIRECCION DE CONTROL MUNICIPAL DE CUENCA, 2010)

Arq. Carlos Álvarez Hermida director de la Dirección de Control Municipal GAD Cuenca, menciona que la cantidad de permisos de “construcción mayor”, se mantuvieron con una dinámica uniforme en el transcurso desde los años 2012 al 2016 y recorrido el año 2017 (ver tabla 2 y 3) y de esta manera se estableció que el promedio de construcción es de 683,70m2/mes de donde solo 231,30m2/mes se emplaza a nivel de planta baja impermeabilizando así la capa vegetal. (ver tabla 4) (Cuenca Municipio 2017)

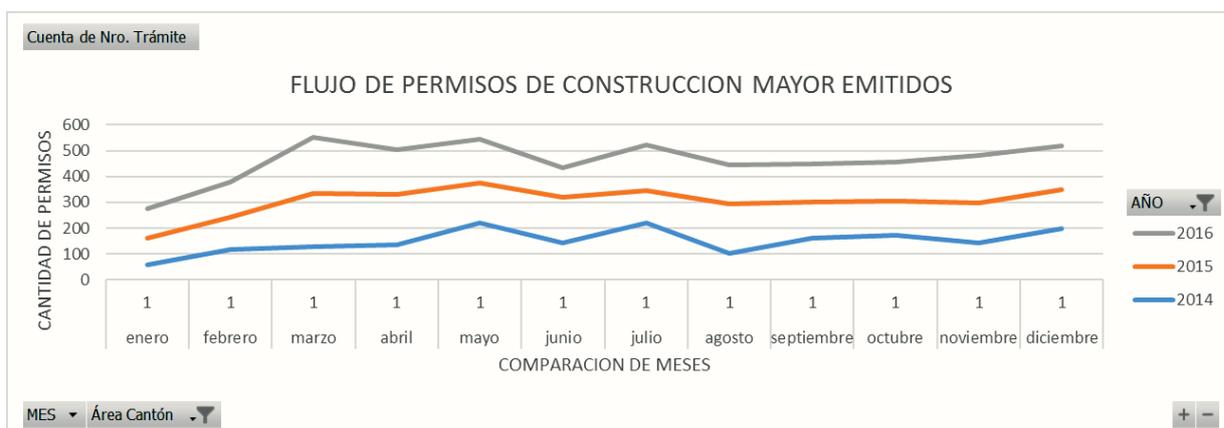


Tabla 2. FLUJO DE PERMISOS DE CONSTRUCCION MAYOR (FUENTE DIRECCION DE CONTROL MUNICIPAL GAD CUENCA, 2010)

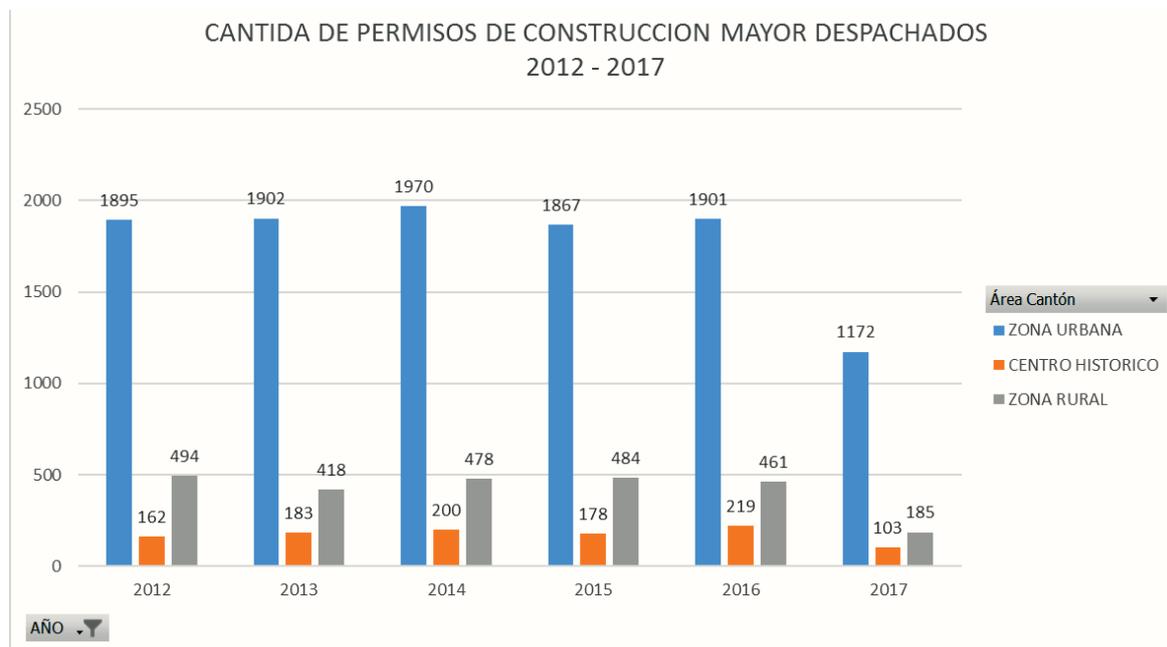


Tabla 3. COMPARACION DE PERMISOS DE CONSTRUCCION MAYOR (FUENTE DIRECCION DE CONTROL MUNICIPAL GAD CUENCA, 2010)

Por lo que se calculó que 235,48 ha fueron impermeabilizadas con el emplazamiento de infraestructura a nivel de planta baja, representando el 23,55% de la ocupación del suelo (sin contabilizar calzada y veredas), y que 764,25Ha (76,45%) aún se encuentra captando agua lluvia. (Ver tabla 4) (Cuenca Municipio 2017).

IMPERMEABILIZACION DE AREA VERDE EN EL CANTON CUENCA					
RANGO ENE/2012 A JULIO/2017					
ZONA	NUMERO DE PERMISOS DE CONSTRUCCION MAYOR	AREA TOTAL DE TERRENO (ha)	AREA IMPERMEABILIZADA EN PLANTA BAJA (ha)	AREA VERDE RESTANTE (ha)	PROMEDIO DE CONSTRUCCION EN PLANTA BAJA (m2/mes)
AREA URBANA	10398	999,73	235,48	764,25	683,70
AREA RURAL	949	62,93	20,03	42,90	211,05
CENTRO HISTORICO	2542	792,83	-	-	258,64
TOTAL	13889	1855,49	321,25	1534,24	231,30

Tabla 4. Tabla comparativa de ocupación de suelo a nivel de planta baja (GAD Municipal de Cuenca 2017)

Ahora bien, de acuerdo a la planificación urbana del cantón, se divide a la zona urbana en varios sectores de planeamiento y de acuerdo a la densidad población se establecen áreas mínimas que podrán cubrir los diferente lotes que conforman dichos sectores; entendido esto, se explica que los lotes mínimo cuyas áreas se encuentran en el rango de 120m² a 250m², el Coeficiente de Ocupación de Suelo (COS), será entre el 60% y el 80% del área del predio, con el fin de reservar espacio vegetal en retiro frontal y posterior. Sin

embargo, es en este grupo de predios donde se presenta la totalidad de infracciones tendiendo a construir losas de hormigón para garajes en retiro frontal y patios posteriores cubiertos por estructuras de vidrio y/o losas recubiertas de cerámica, ocupando una gran proporción de casos el 100% del espacio del predio.

Ahora, de acuerdo a la base de datos de la Dirección de Control Municipal, que data desde el 2012 a la fecha y en la cual se codificó informa-

ción referente a las planificaciones de viviendas aprobadas y usando como base de identificación solo, las áreas en planta baja (COS) y descartando las áreas en pisos superiores (CUS).

Con esta información se procedió a procesar información solo con predios que se encuentran dentro del rango de lotes entre 60 y 80% del COS.

En base a lo mencionado se explica que, de los 2348 predios contabilizados hasta julio del 2017, el 100% impermeabilizaron el suelo en toda su extensión eliminado la capa vegetal tanto en retiro frontal como posterior, conformando una superficie igual a 77,47 ha y cuya tendencia para el 2030 sería de 136,52 ha que carecerán de espacios verdes. (Ver tabla 5).



Tabla 5. Tabla de la tendencia a ocupación de uso de suelo. (GAD Municipal Cuenca 2017).

1.1.2 DETERMINACIÓN DE RELACIÓN DIRECTA ENTRE EROSIÓN Y PERMEABILIDAD DE SUELO:

Una problemática que según Diego Cárdenas, las lagunas de oxigenación no cuentan con lecturas de batimetría de forma periódica, por lo que no se puede indicar la cantidad de material de sedimento que es producto de la erosión de las áreas verdes restantes (Cardenas 2017). Pero se puede determinar que, como consecuencia del área verde ocupada, la restante se ve sujeta a más aguas lluvias que en el pasado. Entonces se aumenta los niveles de escorrentía, provo-

cando colapsos de los sistemas de alcantarillado y posibles inundaciones. También crecen los niveles de erosión y segregación de áridos hacia el alcantarillado o hacia ríos, reduciéndose la capacidad de retención del suelo. La erosión es el factor principal de degradación de los recursos naturales los cuales deterioran un área estimada de 5113.36 ha equivalente al 1.4% del territorio. (GAD-Municipal-Cuenca 2011).





2 CAPÍTULO DOS: OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

2.1 HIPÓTESIS:

El 80% de agua lluvia precipitada sobre una cubierta verde, que para este caso será una parcela de ensayo que simule una cubierta vegetada; será retenida por el sustrato que compone dicha parcela y que será medida por tres indicadores: cantidad de agua lluvia captada, peso del sustrato en estado de saturación y porcentaje de retención volumétrica.

2.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1 OBJETIVO GENERAL

Cuantificar la cantidad de agua lluvia retenida en el sustrato así como su peso de éste en estado saturado luego de captar agua lluvia en un prototipo de cubierta vegetada (parcelas de ensayo que simulen cubiertas verdes).

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar y analizar información acerca de los diferentes tipos de cubiertas verdes, niveles de escorrentía y captación de agua lluvia. De igual manera determinar una proyección de crecimiento de suelo urbanizado a nivel de planta

baja (COS) frente a áreas verdes no impermeabilizadas.

2. Replicar un método experimental para así determinar la capacidad de retención de las cubiertas vegetadas (con la ayuda de parcelas de ensayo que simulen cubiertas verdes) y que utilicen como recubrimiento *Pennisetum clandestinum* (Kikuyo), con el objetivo de plantear una metodología de diseño y construcción de cubiertas vegetadas aplicadas para la ciudad de Cuenca.

3. Con la ayuda de parcelas de ensayo, se simula una cubierta verde extensiva con pendiente 0%, mismas que estarán conformadas por un "sustrato ideal" (llámese a aquella conformación de material cuya composición química mantenga su pH en estado neutro) y alternados con materiales alivianadores se definirá que cantidad de agua lluvia retiene un área verde específica a fin de evitar escorrentía y erosión. De esta manera determinar su peso en estado seco y húmedo con la parcela que demuestre mejor rendimiento.





3 CAPÍTULO TRES METODOLOGÍA.

Esta investigación es de carácter experimental y está compuesta de una etapa cuantitativa:

La etapa cuantitativa determinó un análisis de la información recabada para el análisis e interpretación, tal como manuales de diseño, normativas nacionales e internacionales, construcción, resultados de evaluaciones de escorrentía, etc. Es una investigación cuantitativa, a través de mediciones de los parámetros, obtención, análisis de resultados y su comparación con investigaciones previas.

3.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.

3.1.1 PLAN DE TRABAJO

1. PAQUETE DE TRABAJO N1.- Recopilar y analizar información acerca de los diferentes tipos de: cubiertas verdes, niveles de escorrentía y captación de agua lluvia. De igual manera determinar una proyección de crecimiento de suelo urbanizado a nivel de planta baja (COS) frente a áreas verdes no impermeabilizadas.

• ACTIVIDADES:

a) Investigar metodologías de evaluación, herramientas de diseño de cubiertas verdes ya realizadas, normas nacionales e internacionales que permitan un manejo sustentable de las cubiertas vegetadas para control de agua lluvia – escorrentía de agua lluvia.

b) Recopilación de datos con la ayuda de empresas como ETAPA EP, Municipio de Cuenca, INEC a fin de determinar la proyección de crecimiento de la ciudad, reducción actual de área verde y niveles de escorrentía provocadas por la impermeabilización de los suelos.

2. PAQUETE DE TRABAJO N2.- Replicar un método experimental y sustentables para así determinar la capacidad de retención de las cubiertas vegetadas (con la ayuda de parcelas

de ensayo que simulen cubiertas verdes) y que utilicen como recubrimiento Pennisetum clandestinum (Kikuyo), con el objetivo de plantear una metodología de diseño y construcción de cubiertas vegetadas aplicadas para la ciudad de Cuenca.

• ACTIVIDADES:

a) Se elaborará, un experimento basado en el diseño utilizado en el artículo y tema de tesis de maestría del Arq. Rosatto, Héctor G, denominada: “EFICIENCIA DE LA RETENCIÓN HÍDRICA DE LAS CUBIERTAS VEGETADAS”

b) Se realizarán entrevistas a profesionales de la rama y carreras comprendidas dentro del diseño de cubiertas verdes para determinar temas de carácter vegetal, estructural, y constructivo.

3. PAQUETE DE TRABAJO N3.- Elaboración de parcelas de ensayo de simulación de cubierta verde intensiva con pendiente 0%, conformadas por un sustrato ideal y alternados con materiales alivianadores se definirá que cantidad de agua lluvia retiene un área verde específica a fin de evitar escorrentía y erosión. De esta manera determinar la cantidad de área verde que debe ser devuelta al ecosistema recompensando el daño que se hizo al suelo al momento de emplazar el inmueble.

• ACTIVIDADES:

a) Reproduciendo el experimento utilizado por la Arq. Rosatto, Héctor G en sus tesis de maestría titulada “EFICIENCIA DE LA RETENCIÓN HÍDRICA DE LAS CUBIERTAS VEGETADAS”, la cual será instalada cerca del pluviómetro de las lagunas de oxigenación a fin de certificar la información obtenida, esto debido a la accesibilidad por tema de traslado hacia el lugar de experimentación.



b) Para ello se elabora una maqueta conformada por cuatro parcelas de ensayo que simulen las cubiertas verdes. Dicha maqueta será expuesta a la intemperie a fin de someterla a eventos de lluvia natural producidas entre los meses de abril a junio y no a una lluvia simulada por cuanto el protocolo de éste tipo de lluvia con lleva mediciones de diámetro de gotas de agua en relación directa con altura de lanzamiento y vientos aplicados a los mismos.

De las cuatro parcelas de ensayo; tres contendrán sustratos ideales conformados con tres diferentes alivianadores (piedra pómez, ladrillo molido y poliestireno expandido) y cubiertos con un solo tipo de vegetación; (Kikuyo, Pennisetum clandestinum). Una de las parcelas servirá de testigo para la recolección directa de agua lluvia ello permitirá definir un peso inferior o mínimo alcanzable.

Cada parécela se encontrará conectada a bidones recolectores de agua los mismos que servirán para guardar el líquido para luego ser contabilizados y hacer la comparación correspondiente.

Como mecanismo de medición, luego de cada evento, las parécelas serán pesadas sobre una balanza electrónica con el fin de recabar información de cada sustrato en estado de saturación y de esa manera poder desarrollar la comparación respectiva.

Para determinar el evento de lluvia se utilizará un sistema de circuito de video cámara tanto para grabación diurna como nocturna para de esa manera poder contabilizar el tiempo de duración de cada evento.

c) Presentar los resultados y conclusiones del trabajo de investigación.

3.1.2 BENEFICIARIOS:

Los beneficiarios de la investigación son:

- La ciudadanía cuencana en general, ya que, al determinar una metodología para el diseño y construcción de cubiertas vegetadas, se podrá retener la escorrentía y evitar de esa manera devolviendo a la naturaleza el espacio de área verde que fue sustraída, evitar una erosión del suelo de forma acelerada, evitar efecto isla de calor, deterioro de cubiertas planas debido al choque térmico por cambios climáticos, efectos de carácter psicológico como liberación de estrés, asilamientos acústicos, devolvemos aquel espacio verde que fue eliminado al momento del emplazamiento de una edificación, etc.

- La elaboración de este sistema constructivo generará nuevas formas de realizar cubiertas, nuevos sistemas constructivos, preparación técnica a profesionales y constructores en la rama, generación de empleo y distribución de materiales especializados.

Así como también el planteamiento para la reforma del art. 45 de la Ordenanza que Sanciona el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca, el mismo que indica: "...QUE EL LOTE QUE CUMPLE CON LAS DETERMINACIONES DE SUPERFICIE Y FRENTE MÍNIMO PREVISTO PARA EL EDIFICACIÓN DE DOS PISOS. EL PISO ADICIONAL SE CONSTRUIRÁ CON EL RETIRO FRONTAL INCREMENTANDO EN 3 METROS AL DISPUESTO PARA LOS PISOS INFERIORES...". (CuencaGAD 2010) Y dicha área que en la mayoría de los casos deberían ser losas inaccesibles; se terminan convirtiendo en balcones, por lo que se planteó para la reforma a la ordenanza el uso de las cubiertas verdes en dichos espacios y convirtiéndose en un aporte para la ciudad.

De acuerdo al estado del arte se tomó como ejemplo a los proyectos: “EFICIENCIA DE LA RETENCIÓN HÍDRICA” de Héctor Rosatto, “ATENUACIÓN HÍDRICA PRODUCTIVA” de Cortes Forero y Oviedo Escobar y “EVALUACIÓN DEL EFECTO TÉRMICO Y CAPTACIÓN DE ESCORRENTÍA PRODUCIDA POR UNA PLANTA PILOTO DE TECHO VERDE” de Daniel González; con el objeto de emular aquellas experiencias y encontrar un resultado aplicado a nuestro medio.

Para la elección del tipo de cubiertas uno de los parámetros que se debe considerar al momento de elegir el tipo de cubierta verde (extensiva o

intensiva), es la pendiente original de su estructura soportante.

En una cubierta plana se podría implantar sustratos profundos o cubiertas verdes intensivos, debido a la ausencia de empuje vertical, no así en una cubierta inclinada, en la cual se debe tener en cuenta el peso húmedo y seco del sustrato.

Gernot Minke, sugiere que las pendientes se pueden clasificar entre: de 00 (0%) a 400 (84%), con techos planos (30 o 5%), a techos de pendiente moderada (200 o 36%), hasta techos con pendiente pronunciada (400 o 84%). (Carlos et al. 2011). (ver ilustración 24)

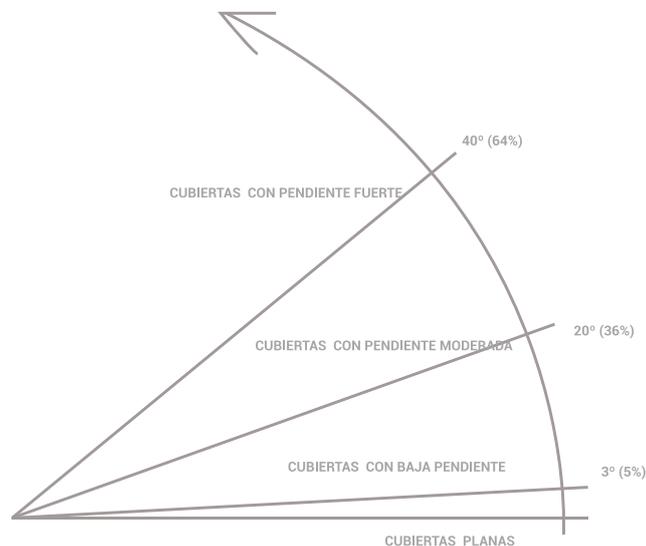


Ilustración 1. Variaciones de las pendientes adoptadas entre 00 a 450 para cubiertas verdes extensivas (MINKE 2003)





4 CAPÍTULO CUATRO. ESTADO DEL ARTE

4.1 INTRODUCCIÓN:

La estrategia de “Cubierta Verde”, se ha utilizado para regular la temperatura dentro de las edificaciones. Tanto en regiones de climas fríos como Islandia, Escandinavia, Estados Unidos (la parte norte) y Canadá; así como en regiones de climas cálidos, como en Tanzania, se han registrado edificaciones con ésta técnica, demostrando que éste sistema mejora muchos factores del medio ambiente tales como: la reducción de áreas pavimentadas, la limpieza del aire, la reducción de remolinos de polvo, la regulación de temperaturas, la humedad, la protección de la vida útil de las cubiertas en general, el efecto de aislación térmica, aislación acústica, protección contra incendios, efectos estéticos y psicológicos, percepción de aromas, espacio vital para insectos, y finalmente la integración con el paisaje (Arcila Rojas 2014).

Además de las ventajas mencionadas, este tipo de sistema retiene y regula la evacuación de agua lluvia, así un techo verde con 20cm de sustrato de tierra y arcilla expandida, puede retener 90mm de agua (= 90 litros/m²). Según la norma alemana DIN 1986, el coeficiente de desagüe de aguas pluviales para cubiertas ajardinadas con un espesor mínimo de 10cm es de 0,3; esto significa que solo el 30% de agua lluvia es vertida al sistema de alcantarillado, mientras que el 70% es retenida por el techo.

En una cubierta con una pendiente de 12 grados de inclinación y 14cm de espesor de sustrato saturado por precipitación de 18 horas, se cronometró un retraso de 12 horas de agua lluvia hacia el desagüe. Así también se midió que para un sustrato de 10cm de espesor para lluvia de intensidad 20 lt/m² en 15 minutos, desagua 5lt/m² frente a los 16 lt/m² con respecto a una cubierta normal, cuyos experimentos han demostrado que estas cubiertas desarrollan ese efecto de “retardo o freno” o reducción de velocidad sobre un sistema de alcantarillado (Arcila Rojas 2014).

Rosatto sostiene que “La inundación en áreas urbanas por sobrecargas de las redes de drenaje es un problema recurrente de problema creciente” por lo que el uso de cubiertas vegetadas conforman un amortiguador del agua precipitada (Rosatto, Héctor G. et al. 2010).

En la Ciudad de Quito: el crecimiento representativo en edificios en las zonas altas y el reducido espacio de áreas de consolidación urbana, ha provocado a los constructores a gestionar el aumento de pisos en altura, razón por la cual el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, mediante ordenanza autoriza dichas ampliaciones, considerando el uso de nuevas tecnologías, entre ella el uso de cubiertas verdes, tal como lo menciona la ordenanza No.172, parágrafo 3, artículo 96, en su literal (d): “... del incremento de número de pisos en el DMQ, en el ámbito de aplicación, en las construcciones que privilegien la reutilización de aguas servidas, garanticen limitaciones de consumo de energía y agua, y en general las que sean un aporte paisajístico, ambiental y tecnológico a la ciudad...”. (DM QUITO 2011).

En La ciudad de Cuenca, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón, no presenta dentro de sus ordenanzas y normativas de construcción, el uso de cubiertas verdes, ya sea por la ausencia de un especialista en el área o falta de interés político, sin embargo ; en el Plan Operativo Anual (POA) correspondiente al año 2017, se encuentra designado para la propuesta de Normativa, incluir la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC15; así como ingresar a ésta, la construcción de cubiertas verdes sobre losas de carácter inaccesible, acondicionado al art. 45 de la Ordenanza de Control Urbano. (Alvarez 2017).

En la actualidad existen diversas formas de incorporar sistemas de vegetación en los envolventes, tanto de naturaleza horizontal como vertical.



Éstos sistemas se agrupan en tres áreas: fachadas vegetales opacas, fachadas vegetales translúcidas y cubiertas verdes: (Chanampa y Ojembarrena 2009).

1.Sistemas opacos: Se les atribuye tres soluciones: gaviones con vegetación, paneles vegetados en caja metálica y paneles vegetados en celda drenante.

2.Sistemas translúcidos: Se les atribuye dos sistemas: cerramiento vertical a modo de invernadero extraplano con un elemento vegetal intermedio y una protección móvil para huecos de fachada con soporte incorporado para especies trepadoras.

3.Sistemas envolventes horizontales: Se tienen las cubiertas verdes sobre superficies planas e inclinadas. Estas se dividen en dos tipos, extensivas e intensivas.

Las ventajas de los diferentes usos de las cubiertas verdes, se pueden establecer en zonas de compatibilidad industrial, vivienda, zonas agrícolas, etc. (JODIDO 2012).

Industrial. – países como Estados Unidos, China o Alemania establecieron políticas de gobierno para reponer área verde eliminada en el momento de sus emplazamientos.

Vivienda. - según Daniel Arcila en barrios céntricos de grandes ciudades, aproximadamente el 1/3 de la superficie está edificado, el otro 1/3, corresponde a calles y plazas y el 1/3 de área restante, corresponde a zonas sin pavimentar. Si por tan solo 5 cubiertas; hubiera una cubierta con recubrimiento verde, el área útil de hojas de la vegetación implantada como recubrimiento de las cubiertas vegetales se duplicaría. (Arcila Rojas 2014).

Las ventajas que presenta la instalación de las cubiertas verdes son: Reducción de las superficies pavimentadas, efecto de aislación térmica, regulación de humedad y temperatura, reducción de remolino de polvo, producción de oxígeno, reducción de sonido, absorción de lluvia y aligeran el sistema de alcantarillado, generación de aromas agradables, alojamiento a insectos, aves, seres vivos en general e influyen en el estado de ánimo de las personas. (Arcila Rojas 2014).

Sus desventajas: cambio y uso de cubierta verde por la cubierta tradicional de plancha de fibrocemento y teja, enfriamiento en verano y aislación térmica en invierno no favorece, el coste del cambio de estructura de soporte, el sistema de drenaje para resumir la acumulación y vertido de aguas captadas y la instalación de todo el sustento del tipo de cubierta que se desee instalar.

4.2 HISTORIA DE LAS CUBIERTAS VERDES:

Los recubrimientos o cubiertas de las edificaciones, han evolucionado lo largo del tiempo, pasando desde las más rudimentarias como es el caso de la colocación de hojas de palmas o de las cortezas de los árboles, sin vida, hasta modernas con vegetación viva e incluso con aspecto futurista o de alta tecnología. Existen aquellas que utilizan, materiales como el hormigón, el asfalto, varios tipos de cerámicas, elementos vítreos complementarios.

Se estima que el inicio del uso de cubiertas vegetadas se dio en Mesopotamia aproximadamente en el siglo XX (A.C), en las márgenes del río Éufrates (ver ilustración 1), en donde se habría ordenado la construcción de una montaña artificial, con el fin de adornar sus espacios con todo tipo de vegetación, e integrar la naturaleza con el medio construido.(Carlos et al. 2011).



Ilustración 2. Jardines de Babilonia (Carlos et al. 2011).

Se ha evidenciado el uso de este tipo de cubiertas tanto en los países escandinavos asentados generalmente en las orillas de los ríos, en los que utilizaban la tierra de la zona como material pegante en la elaboración de sus cubiertas (ver ilustración 2). En el Renacimiento eran usuales las cubiertas verdes en Génova. En el Precolombino, en México, en los siglos XVI y XVII en la India, en algunas ciudades de España; y en el siglo XVIII ingresa hacia Francia.

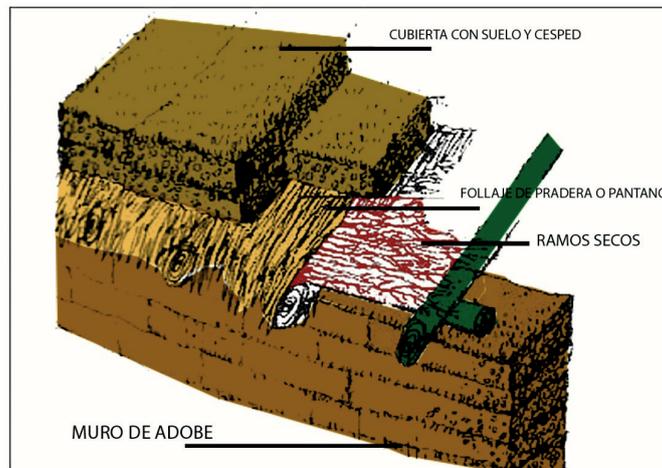


Ilustración 3. Técnica constructiva que algunos países siguen utilizando, solo han perfeccionado sus sistemas. (Carlos et al. 2011).

En el siglo XVIII, la tecnología del hormigón permite modificar la arquitectura tradicional y por ende los tipos de cubiertas, haciendo posible la expansión de las cubiertas verdes en regiones europeas y de América del Norte. (Flores Prieto 2010)

A principios del siglo XX, la cubierta verde deja de ser una técnica constructiva primitiva para convertirse en un método constructivo altamente investigado y de rápida propagación por países europeos como Alemania, Austria, regiones Escandinavas hasta llegar a América del Norte. (ver. Ilustración 3)



Ilustración 4. Cubierta del Gimnasio Clara Grunewald en Friburgo Alemania Fuente Revista Zinco (Zinco, 2009)

En América Latina, en Brasil se comienza a utilizar las cubiertas verdes en obras del arquitecto Roberto Burle Marx, al final de la década de los 30 en proyectos como el Ministerio de Educación y Cultura de Río de Janeiro (ver ilustración 4 y 5), Museo de Arte Moderno, La Asociación Brasileira de Empresas y el edificio Petrobras. (Fao 2007).



Ilustración 5. Ministerio de Educación fachada (archivo Gustavo Capenema CODOCFV (vitruvius.com.br 2006))



Ilustración 6. Ministerio de Educación y Cultura de Rio de Janeiro, azotea cubierta verde (archivo arqciintiamirez.blogspot.com/)

En el Ecuador las cubiertas vegetadas son recientes, es así que en la ciudad de Cuenca ya se han implementado, sin embargo, son consideradas de forma decorativa en terrazas en edificios de oficinas y departamentos, o en losas de aparcamientos. No son consideradas en la arquitectura por su contribución ambiental y urbanística, no existen datos de contribución a nuestro medio. Se puede encontrar una muestra de ello sobre la losa de cubierta del edificio “Terrazas de Cuenca”(AGN 2014) (ver Ilustración 6), para lo cual, en la instalación de dicho recubrimiento, se utilizó una membrana anti- raíz tendida sobre la losa de hormigón, sellada con emulsión asfáltica y perforada para liberar los ductos de recolección de agua lluvia o bajantes, sobre éste fue colocado un sustrato de tierra negra sin grava con una altura estimada de 20cm sobre el cual se plantó césped, y plantas ornamentales como cactus, vegetación que resistirá condiciones cli-

matológicas extrema; conformando así una cubierta verde intensiva.

En Quito en 2012, se observa el desarrollo de este tipo de tecnología, y es el edificio del Ministerio del Ambiente (Vela 2010) (ver ilustración 7), quien abre las puertas para el uso y regularización de este tipo de elementos, de esta manera, el Distrito Metropolitano de Quito desarrolla la Ordenanza No. 0172 (DM QUITO 2011) en la que en su Artículo. 96 ámbito de Aplicación, literal b y d se estipula que: “la autorización del incremento de pisos podrá otorgarse en el caso de: proyectos urbano – arquitectónicos especiales que constituyan aportes urbanísticos que mejoren las características de áreas verdes... y en la construcción que garanticen consumo de energía y agua...” siendo una legislación efectiva para la promoción.



Ilustración 7. Edificio de departamentos Terrazas de Cuenca, azotea cubierta verde (archivo diario el mercurio)



Ilustración 8. Edificio del Ministerio del Ambiente Quito-Ecuador, azotea cubierta verde (archivo revista Clave)

4.2.1 SISTEMAS METODOLÓGICOS DE EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD:

La edificación sostenible ha crecido a partir del impulso hacia una edificación verde. El movimiento verde se desarrolla en los años 70 haciendo énfasis a la conservación de la energía. Hacia los años 80 crece la preocupación acerca del impacto que produce la elaboración de un edificio y la fabricación de sus materiales que al final se lo define como el síndrome del edificio enfermo.

Desde el año 2000 ha crecido gradualmente los métodos de evaluación medioambiental para edificios en todo el mundo. BREEAM (BRE Environmental Assesmen Method) fue el primer sistema aparecido en 1990 que ofrecía un etiquetado de edificios, pero LEED (Leadership in Energy and Environmental Desing) es el de mayor impacto en el mercado.

Actualmente existen métodos de evaluación basados en la metodología desarrollada por el grupo GBC (Green Building Challenge), actualmente iiSBE (International Initiative for a Sustainable Buolt Enviroment). (VERDE y NE 2015)

Los métodos de evaluación se estructuran en tres grandes grupos:

1. Aquellos basados en la valoración de actuaciones establecidas en créditos asociados a puntuaciones en función de la importancia de sus impactos ejemplo LEED V3 y BREEAM (BRE-GB).

2. Los basados en cálculos de parámetros de ecoeficiencia por ejemplo el método de evaluación de CASBEE Japón el mismo que se define como “valor de productos y servicios por unidad de cargas medioambientales es decir una relación entre Rendimiento y Calidad Medioambiental.

3. Los basados en el cálculo de la reducción de impactos asociados a la incorporación de medidas de diseño y factores de rendimiento establecidas en una lista de criterios. (VERDE y NE 2015)

En varios países a nivel mundial, existen empresas encargadas de la evaluación para determinar la sostenibilidad de edificaciones. En los Estados Unidos rige el uso de la certificación ambiental denominado: “Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental”, (Leadership in Energy and Environmental Design por sus siglas en ingles LEED), el cual indica que ha calificado un equivalente a 1,85 millones de pies cuadrados diariamente. Esta certificación se basa en el rendimiento de la



calidad ambiental interior para mejorar el confort de sus ocupantes. LEED otorga la "Certificación del Diseño del Techo Verde 101", a diferentes organismos gubernamentales y privados, pero, dado que es poca la información con la que se cuenta, la asociación de Techos Verdes para Ciudades Saludables (Green Roofs for Healthy Cities por sus siglas en inglés GRHC) ofrece un curso sobre "Tecnologías de techo verde en América del Norte", el cual consta de los siguientes programas: (Leonor y Maciel 2016):

- Curso introductorio Green Roofs Diseño 101.
- Diseño e Instalación de 201: Infraestructura del Techo Verde.
- Impermeabilización de Techos Verdes y Drenaje.
- Las Plantas verdes y medios de cultivo 401.

Green Roof Association (IGRA por sus siglas en inglés), la cual es una asociación encargada de regular los requisitos técnicos con respecto a la instalación de azoteas verdes, principalmente en los países europeos. También da a conocer los diversos tipos de azoteas verdes, los tipos de vegetación, conservación y mantenimiento; establece los lineamientos preventivos para que cada país pueda contar con estándares básicos y de esta manera desarrollar leyes y normas propias sobre Azoteas Verdes.(Leonor y Maciel 2016).

4.2.2 ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA:

Se toma como referencia de la lista de criterios utilizados por la GEA VERDE.ES (GBCe2015) dentro del cual el manejo de cubiertas vegetadas y la evaluación se encuentra en los indicadores: A32 "efecto isla de calor a nivel de cubierta" y C02 "retención de aguas lluvia para su reutilización" tomado de "core indicators" para la evaluación de la sostenibilidad en edificios determinados dentro de la Guía para los Evaluadores Acreditados, el mismo que indica que:

•**A 32.** Efecto isla de calor a nivel de la cubierta. Disminuir el efecto de isla de calor en áreas urbanas, así como las cargas emitidas al edificio por el calentamiento de la superficie de la cubierta, mediante la utilización de materiales de baja absorción, o de zonas verdes o sombreadas en la cubierta.(VERDE y NE 2015).

Objetivos del criterio.

Disminuir el efecto de isla de calor en áreas urbanas y las ganancias solares en condiciones de verano mediante la utilización de materiales de alta reflectancia o de zonas verdes en las cubiertas.

NOTA: En este criterio solo se evalúa el efecto térmico sobre el edificio objeto y no sobre el entorno, incluyendo en la simulación del edificio como indica el criterio B 03 (...CONSUMO DE ENERGÍA NO RENOVABLE DURANTE EL USO DEL EDIFICIO. DEMANDA Y EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS, PROMOVER Y PREMIAR LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA NO RENOVABLE NECESARIA PARA LA CLIMATIZACIÓN DEL EDIFICIO TAL COMO CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN EN LOS EDIFICIOS DEL SECTOR RESIDENCIAL (...)) APLICADO MEDIDAS PASIVAS DE DISEÑO PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA...), los datos de absorción de los acabados superficiales de la cubierta.

Para su procedimiento de cálculo, se recomienda utilizar el software Energy+, el cual dispone de rutinas que analizan el comportamiento térmico de una cubierta vegetada. (VERDE y NE 2015).

•**C 02.** Retención de aguas de lluvia para su reutilización.

Promover un sistema de gestión de aguas superficiales, de recogida y almacenamiento de las aguas de lluvia para su reutilización.(VERDE y NE 2015).

4.2.3 HERRAMIENTAS DE DISEÑO O EVALUACIÓN:

Hoy en día existen varios softwares que se utilizan para la realización del anteproyecto, proyecto, ejecución y evaluación para la elaboración de las cubiertas vegetadas. Estas herramientas informáticas utilizan el método de evaluación energética CALENER GT, en donde ha de simularse el edificio, modificando el valor de absorción según las características del material de la cubierta. (VERDE y NE 2015).

4.2.4 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CUBIERTA VERDE:

Los componentes de un sistema de cubierta verde son: la impermeabilización, el sistema de drenaje, el sustrato, la vegetación y el sistema de riego.

4.2.5 IMPERMEABILIZACIÓN:

El uso de una membrana impermeabilizante es

fundamental para la protección del soporte o cubierta, y se debe tener en cuenta los siguientes aspectos: el esfuerzo mecánico, los problemas emergentes en caso de incendio, desgaste por agua, microorganismos, además se debe considerar también las posibles sustancias químicas que se podrían infiltrar.

Las mantas impermeables son fabricadas en base a membranas termoplásticas (PVC), resinas sintéticas y bitúmenes modificados o mantas asfálticas de aluminio o polietileno, sin embargo, las membranas más usadas son las primeras, es decir aquellas construidas en base de PVC debido a su bajo costo y a su sistema anti-raíz. En Brasil, el Instituto de Impermeabilización (IB) normalizó el uso de mantas asfálticas plastoméricas y elastoméricas, fabricadas por la fusión de bitumen con filtros orgánicos, generando así este subproducto que, mezclado con plomero, aluminio, polietileno, herbicidas mono o dúo capa, a fin de adquirir: flexibilidad, elasticidad, fuerza y la inhibición de la penetración de raíces. (ver ilustración 8)



Ilustración 9. Instalación de membrana impermeable a base de PVC, en prueba de estanqueidad. (Grundfos 2011)



4.2.5.1 SISTEMAS DE DRENAJE:

Un buen sistema de drenaje garantiza la protección de la membrana impermeable de la cubierta, a más de que ayuda a remover el exceso de agua y evita de esa manera la saturación del sustrato.

Algunos experimentos llevados a cabo en Estados Unidos según Philip Jodido, mostraron que con precipitaciones menores a los 2 milímetros (<2mm), la mayor parte del agua es retenida en el suelo y expulsada a la atmósfera en forma de vapor de agua, sin embargo; en precipitaciones que superan los 10 milímetros (>10mm), efectuadas en la misma región, las cubiertas verdes extensivas, reducen significativamente la cantidad de flujo de precipitación entre el 55% y el 75% en cubiertas con pendientes de hasta el 25%; mientras que en cubiertas verdes intensivas, se alcanza desde el 75% al 90% de retención, pudiendo estos valores variar conforme la humedad del suelo, la pendiente adoptada y la cantidad de materiales higroscópicos asociados al suelo, la frecuencia de precipitaciones en intervalos pequeños, lo que indica que tales resultados no pueden ser admitidos como uniformes para lograr la misma capacidad de retención en otras regiones del planeta.

Los materiales más comunes para conformar un sistema de drenaje pueden ser: cascajo, piedras, materiales cerámicos, piedra pómez o aquellos materiales que contengan gran cantidad de poros. También son aceptados aquellos materiales prefabricados tales como mantas geo textiles compuestos de materiales orgánicos y polímeros sintéticos.(Carlos et al. 2011).

4.2.5.2 SUSTRATOS:

“...Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral

u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta...” (Carroll 2010).

La agricultura estudia al suelo y a sus componentes, siendo un factor importante en los sistemas de cubiertas verdes, debido a que en función de sus propiedades térmicas se pueden determinar las consecuencias de comportamiento como intercambiador de energía térmica con la atmosfera.

La temperatura del suelo tiene relación directa con la planta en aspectos como la germinación, la función de las raíces y la duración del crecimiento de las plantas, así como de la ocurrencia y severidad de las enfermedades.

Estudios relacionados con la composición demuestran que el sustrato mejor adecuado, son los suelos característicos pedregosos y arenosos con granulometría variada entre 0,06mm a 20mm. El 70% con macro poros con valor aproximado de 50% llenos de aire, facilitan el drenaje y evitan el daño del sistema radicular de la vegetación. Se le puede añadir arcilla expandida para aumentar la retención de agua con poca masa (cerca del 28% de su volumen original). (Carlos et al. 2011).

Actualmente se pueden conseguir materiales industrializados tales como la arcilla expandida, las cerámicas e hidro-retenedores, en combinación con arena y sílice; los cuales, en conjunto, están siendo utilizados como sustratos artificiales, al igual que minerales reciclados. Estos componentes llegan a tener una retención de humedad semejante o mayor a la de la materia orgánica presente en un suelo convencional. (Carlos et al. 2011). (Ver tabla 6)

MATERIALES	CARACTERISTICAS
MINERALES NATURALES	
ARENA	La granulometría puede influenciar las tasas de retención de agua y drenaje, pudiendo necesitar irrigación constante
ESCORIA DE LAVA Y PIEDRA POMEZ	Leve y valioso si existe disponibilidad local
CASCAJO	Relativamente pesado
MINERALES PROCESADOS	
PERLITA	Partículas que no retienen humedad. Tienen a desintegrarse con el tiempo.
VERMIVULITA	Muy leve, poca retención de agua y de nutrientes. Puede desintegrarse con el tiempo
ARCILLA Y PIZARRA EXPANDIDA	Leve, producen grandes cantidades de poros debido a su tamaño y absorción de agua por causa de su naturaleza porosa
LANA MINERAL	Muy leve, gasto energético de producción alto, retiene agua, mas su capacidad de retención de nutrientes.
MATERIALES RECICLADOS Y RESIDUOS	
LADRILLO Y TEJA TRITURADA	Estable y uniforme, algunos nutrientes de retención de humedad. Escombros de ladrillos pueden contener argamasas y cemento que elevaran el pH del sustrato
CONCRETO TRITURADO	Limitada retención de humedad y disponibilidad de nutrientes. pH alcalino. No obstante, económico y disponible
SUBSUELO LOCAL	Pesado, de baja fertilidad, disponible como sub producto de construcción.

Tabla 6. Cuadro de alivianadores utilizados en sustratos (Dunnett y Kingsbury, 2008)

La elección de los materiales a utilizarse en una cubierta verde, así como el conocimiento de la densidad aparente de cada material, favorece a la ejecución del proyecto, tanto en costos de estructura como de materiales. (Carlos et al. 2011). (ver tabla 7)

MATERIAL	Kg/m3
arena fina seca	1446
arena fina húmeda	1928
aserrín seco de cedro con fertilizante	148
aserrín húmedo de cedro con fertilizante	208
turba y musgo seco	154
turba y musgo húmedo	165
lava volcanica seca	803

Tabla 7. Cuadro de peso de materiales en estado de saturación. (OSMUNDSON 1999)

La tierra de jardín estándar no se puede utilizar para las cubiertas verdes, debido a que contienen una permeabilidad muy limitada y poca retención de agua; además, posee un peso elevado y unas características físico – químicas inadecuadas para la implementación de este tipo de cubiertas. En la tierra de jardín, podría proliferar vegetación arvense, así como gérmenes fitopatógenos que ponen en riesgo de enfermedades al resto de plantas seleccionadas para la cubierta.

4.2.5.3 VEGETACION:

La elección de las especies vegetales es un punto muy importante para el buen funcionamiento de las cubiertas verdes. Estas deberán ser apropiadas para el clima local, ya sean nativas o no de la zona, la profundidad del sustrato y la nutrición que las acoge. De esta manera, se garantizan las funciones ecológicas, estéticas y económicas, resultando una manera viable para la implementación de las cubiertas verdes, disminuyendo costos de replantación, mantenimiento e irrigación. (Carlos et al. 2011).

4.2.5.4 TIPOS DE VEGETACION:

Analizando la composición de la estructura o forma de las plantas, se recomienda el uso de vegetación con raíces fasciculadas, puesto que éstas crecen de manera alargada y en todas las direcciones debido a su contextura delegada, tal como la *Paspalum Notatum*. (ver ilustración 10).



Ilustración 10. Foto de *Paspalum Notatum* (b) característica radicular fasciculada (Carlos et al. 2011).

Se debe evitar plantas con raíces pivotantes o axiales en sustratos de poca altura, puesto que estos crecen en forma vertical y poseen mucha fuerza pudiendo agrietar la losa de cubierta. (ver ilustración 10)

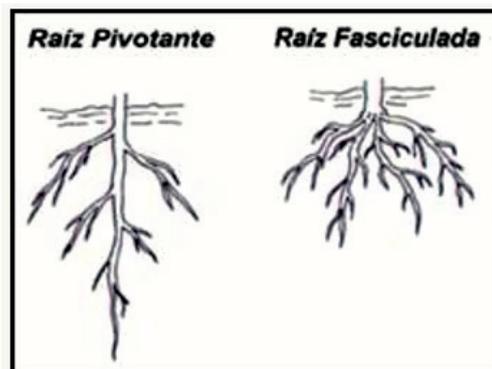


Ilustración 11. Diferencia entre raíz pivotante y fasciculada. (Carlos 2011)

Durhman y Monteruso autores de la tesis denominada: “EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE USO DE TRES ESPECIES VEGETALES COMO COBERTURA LIGERA DE TEJADOS EN EDIFICACIONES” comparan métodos de propagación, tasa de crecimiento, sobrevivencia, cobertura y persistencia, así como métodos de exploración del potencial, y el uso de especies vegetales para la implementación en cubiertas verdes extensivas, concluyendo que las plantas del género *Sedum*, presentan las mejores condiciones de adaptabilidad para la aplicación en cubiertas vegetales extensivas.

Al noreste de Estados Unidos se usó este tipo de vegetación, y se pudo ver que éste tipo de plantas, pueden llegar a soportar grandes cambios climáticos, que pueden ir de frío a calor extremo (-25oC a +30oC) sin ningún problema, en comparación con otros tipos de vegetación como gramíneas, pastos y arbustos.

En China y Japón se recomienda el uso de vegetación del género *Arachis*, *Ophiopogon*, *Portulaca* e *Sedum*, cultivadas solo en drenes y a profundidades de 10 a 15cm. (Carlos et al. 2011) En regiones de clima ecuatorial tales como Singapur, se recomienda vegetación de espe-

cies como: *Aptenia cordifolia*, *Bryophyllum fedtschenkoi*, *Kalanchoe tomentosa*, *Portulaca Grandiflora*, *Portulaca Oleracea*, *Sedum Acre*, *Zephyranthes Rósea*, entre otras. (Carlos et al. 2011).

4.2.6 SISTEMAS DE RIEGO

Tanto en climas cálidos como en climas secos o tropicales, todos los tipos de cubiertas necesitan de un sistema de riego. No perdamos que la idea de una cubierta verde es que se naturalice y que subsista por si sola (Zinco 2009).

Las consideraciones básicas que deben de tomarse en cuenta al momento de elegir un sistema de riego son: tipo de vegetación, condiciones climáticas, cantidad de agua disponible, calidad de agua, pendiente de la cubierta y del tipo de sustrato arcilloso o arenoso. Con éstas condiciones, se podrá determinar el tipo de riego que deberá ser utilizado; sin embargo, a continuación se describen los dos y más utilizados tipos de sistemas de riego: (Carlos et al. 2011).

4.2.6.1 RIEGO POR MANGUERA:

Es el método más usual, es el simple hecho de tomar una manguera y regar la vegetación. Se deberá tener en cuenta que se dispondrá de una llave de toma de agua para la conexión de la manguera, así como la presión y caudal suficiente para el riego. Este método es muy recomendado puesto que es una forma de relajación para el usuario. (Grundfos 2011). (ver ilustración 12 y 13)



Ilustración 12. Sistema de Riego por manguera (GRUFUNDOS 2011)

4.2.6.2 RIEGO POR ASPERCIÓN O MICRO ASPERCIÓN:

Los sistemas con aspersores o micro aspersores, son los sistemas más utilizados a nivel mundial tanto en la agricultura como en la jardinería. Para su implementación se deberá contar con un mínimo de presión y caudal constante, por lo que hará falta una bomba. Los aspersores de gran tamaño, pueden distribuir hasta 100m³ de agua/hora en un radio de hasta 70m. (Grundfos 2011). (Ver tabla 13).

CONSUMO DE AGUA Y ALCANCE DE VARIOS EQUIPOS DE RIEGO		
	RADIO	CAUDAL (m ³ /h)
Aspersores 0	.6 – 5.5 0	.1 – 1.2
Asp. Emergent. 4	- 30	> 1 – 15
Asp. Giratorios	4 - 35 >	1 – 30
Lanzas de riego	30 - 70	30 – 120
Riego por goteo	0	.001 – 0.025

Tabla 8. Manual de Riego Grundfos (Grundfos 2011)



Ilustración 13. Sistema riego por micro aspersión. (GRUNDFOS 2011)

Estos aspersores pueden ser fijos o giratorios, los más sencillos son los pulverizadores.

Las mayores ventajas de estos sistemas, son su bajo costo y la ausencia de piezas extras. El uso de pulverizadores es justificado cuando la necesidad de agua es relativamente baja y cuando el tamaño de la gota es muy importante, puesto



que esta podría erosionar el sustrato de la cubierta verde.

Además de ello, para éste tipo de sistemas su funcionamiento puede ser controlado desde un puesto de mando electrónico, el cual podría regular de manera temporizada el riego sobre la cubierta, lo cual conllevaría una gran ventaja para el usuario.(Grundfos 2011).

4.2.7 COSTOS DE INVERSIÓN

Hacer afirmaciones exactas sobre costos no es posible, las ofertas pueden variar hasta en un 80%, debido a factores como la distancia de los proveedores, de la construcción, el transporte, la accesibilidad del terreno y hasta de la época del año; por lo que lograr una cubierta verde económica, va a depender desde la etapa de planificación.(Arcila Rojas 2014).

Los costos de una cubierta verde varían dependiendo de la región en donde se edifique, dependerán también de la disponibilidad de los materiales y de la mano de obra especializada, afectando así los costos iniciales de proyecto y de instalación de estas cubiertas.

Las cubiertas verdes extensivos, serían relativamente accesibles frente a una cubierta tradicional. No así para sistemas de cubiertas verdes intensivos, en donde los costes se ajustan tanto para el proyecto como para refuerzos estructurales de la edificación. (Arcila Rojas 2014)

Tampoco se puede descartar, que el costo inicial de construcción de cualquier cubierta verde, puede ser entre el 20% al 50% más elevado que una cubierta tradicional, pero el rendimiento a largo plazo, compensaría dicha inversión; más aún, se tendrá un menor impacto ambiental en relación al uso de materiales, la liberación de CO₂ y de sustancias nocivas para la capa de ozono.(Carlos et al. 2011).

Estos costos pueden variar en función de las necesidades o de la viabilidad de la implantación del sistema de acuerdo a los intereses de los bene-

ficiarios.

Si concebimos un proyecto técnico de cubierta bien pensado, en donde se planifique el uso de materiales reciclados, un componente de sistemas de drenaje y un suministro de agua; el costo de una cubierta verde extensivo sería más bajo aún.

4.2.8 METODOLOGÍAS UTILIZADAS:

Lovato Ernesto, en su proyecto denominado “COMPOSICIÓN DE SUSTRATO PARA IMPLANTACIÓN DE VEGETACIÓN SOBRE CUBIERTA VERDE” (ver ilustración 18) determina que el uso de la especie vegetal: *Pennisetum clandestinum* (Kikuyo), cumple criterios de sobrevivencia a condiciones climatológicas extremas demostrando: crecimiento rápido, buena capacidad de absorción, resistencia a periodos largos de sequía y capacidad de supervivencia bajos periodos largos de intensa radiación solar. (Lovato 2017)

Para la composición del sustrato utilizado para cultivar el kikuyo se manejó los siguientes materiales: suelo agrícola, arena, abonos orgánico y cal para neutralizar los excesos de PH y aclarando que se evitó el uso de cascarilla de arroz por cuanto se trata de un material brumoso el mismo que enferma y daña debido a su tiempo prolongado para completar el proceso de descomposición. De igual manera se menciona que bajo recomendación del Dr. Lovato la dosificación fue desarrollada con: 1 palada de arena, ¼ de palada de abono orgánico, ¼ de palada de tierra de hojas, 1/8 de palada de cal, dosificación que a decir de Lovato la misma obtendrás lo que él le llama un suelo ideal es decir con un pH superior a 7,5. Esta dosificación será explicada en el tema composición del sustrato.

Héctor Rosatto, en la facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires Argentina, en el 2010 determinó la “EFICIENCIA DE LA RETENCIÓN HÍDRICA”; proyecto en el cual se presenta resultados de la determinación de la eficiencia de retención hídrica (en forma indirecta a partir de la cantidad de agua percolada), en parcelas

de ensayo que simulan cubiertas naturadas para lo cual utilizando dos tipos de sustratos de distintas profundidades y con dos condiciones de cobertura (con y sin vegetación).

Para su experimentación se utilizó una estructura metálica (mesa) de 6,80m x 1,80m, a una altura de 1,50m sobre el cual se distribuyó macetones de fibrocemento (el documento no establece el porqué de su materialidad) y organizados en 32 macetones de 50cm x 50cm de los cuales 16 de ellos con sustrato de 30cm y los 16 siguientes con sustrato de 10cm, utilizando como recubrimiento vegetal *Sedum sexangulare*. Para la

evacuación de agua lluvia, se realizó una perforación en la base del macetón y sujetado a mangueras plásticas las cuales se conectaron a su vez, a bidones de capacidad de 30lt cada uno, en los cuales se recolectó el agua lluvia drenada por la parcela.

El resultado de éste ensayo fue: en precipitaciones cortas (20mm) se retiene del 70% al 100%, en precipitación de 35 a 40mm retuvieron hasta el 60%, y para precipitaciones de 100mm se redujo la retención de agua lluvia a valores del 30% (Rosatto, Héctor et al. 2010). (ver ilustración 14).



Ilustración 14. Parcelas de ensayo para simular cubiertas verdes con sistema de recolección de agua lluvia para cada parcela. (Rosatto, Héctor et al. 2010).

De igual manera, Cortes Forero y Oviedo Escobar, en el barrio marginal “La Isla” en la ciudad de Socha Colombia, evaluaron la “ATENUACIÓN HÍDRICA PRODUCTIVA” utilizando para este ensayo dos tipos de vegetación (herbácea y crucífera), sembradas en sustratos de 8cm de alto (60% tierra negra y 40% cascarilla de arroz) y al interior de un sistema conformado por 140 botellas plásticas de capacidad de 2.5 litros cada una, las cuales son colocadas en las planchas

onduladas de fibrocemento de la cubierta de una casa tipo. Las mismas son evaluadas mediante tres indicadores: lag time (determinado así por el autor de dicha investigación a el factor de retardo del paso de agua lluvia; aquello que lo denomina coloquialmente como “parachosques”), coeficiente de escorrentía (la relación entre el índice de escorrentía y la precipitación anual) y porcentaje de retención volumétrica (cantidad de agua lluvia retenida en el sustrato). (Ver ilustración 15)

El resultado de este ensayo demostró un retardo de escorrentía de hasta 32 minutos, y porcentajes de retención volumétrica igual al 80%. Para su evaluación se utilizó cubiertas con y sin recubrimiento vegetal, poniendo a prueba la infraestructura de alcantarillado; determinando las probabilidades de inundación. Para este experimento se utilizó cubiertas verdes producidas por el método representado por Forero-Cortes (2012), siendo esta vegetación de carácter comestible.

Para su medición se utilizó dos dispositivos, el primero un dispositivo de medición de verificación (VDD por sus siglas en inglés) y el otro un dispositivo de medición volumétrica (MVD) ambos, conformados por una cámara de alta definición, la cual toma una imagen cada cierto tiempo al momento que ocurre la precipitación.



Ilustración 15. Cubierta verde construido con botellas plásticas interconectadas entre sí, con recubrimiento de dos tipos de vegetación. Forero-Cortes (2012),

Así también, Daniel González utiliza la azotea del edificio de laboratorios del Campus Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena Colombia, para llevar a cabo el ensayo denominado “EVALUACIÓN DEL EFECTO TÉRMICO Y CAPTACIÓN DE ESCORRENTÍA PRODUCIDA POR UNA PLANTA PILOTO DE TECHO VERDE” de tres prototipos de cubierta; dos de la cuales fueron cubiertas verdes compuestas por Verdolaga (*Portulaca Oleracea*) y Duranta (*Duranta Golden*), y la tercera compuesta por una cubierta con terminado de plancha ondulada de fibrocemento y que actuó como cubierta testigo para el desarrollo de la experimentación.

Los prototipos fueron desarrollados sobre una estructura metálica (mesa) de 1.00m x 1.00m y 0.80m de alto. Con el fin de recrear una vivienda; se colocó paneles de madera rodeando la base de la estructura metálica. Sobre la base se sembró la vegetación antes descrita y las planchas onduladas de fibrocemento.

Para su validación se instaló un pluviómetro estación meteorológica OREGON SCIENTIFIC WMR200A, y en el segundo punto, bajo cada uno de los modelos de techo verde mediante un sensor de lluvia inteligente RG3-M, hacia el interior de cada una de las bases de la estructura, se instalaron dos tanques de almacenamiento de agua de 5 L de capacidad y un par de balanzas, cada una con una resolución de 40 g y capacidad máxima de 5 Kg, para así determinar el volumen de agua se escorrentía mediante la medición de la masa de agua evacuada.

Los registros de los datos obtenidos por medio de los sistemas de monitoreo fueron: precipitación, caudales de escorrentías salientes, el tiempo de retención, la intensidad y duración de lluvia, y la temperatura en cada uno de los puntos de medición; determinando que el tipo de vegetación, contribuyó para poder reducir hasta en 10°C menor al valor de temperatura externa medida.

Sobre el valor de escorrentía, ésta solo escurrió el 0,03% del total de precipitación medida. Para eventos de lluvia con precipitaciones menores a 20mm la retención fue del 100%. (Mora 2012). (ver ilustración 16 y 17).



Ilustración 16. Tres modelos de cubierta verde. (GONZALEZ 2016)



Ilustración 17. Sensores para controlar pesos, temperatura y video (GONZALEZ 2016)

Con lo antes mencionado, debe suponerse que para la ciudad de Cuenca provincia del Azuay en Ecuador, por su nivel de crecimiento y traducido en área impermeabilizada sus niveles de escorrentía van en aumento, por lo que se propone determinar de igual manera éstos dos indicadores: peso y porcentaje de retención volumétrica. Para determinar el rendimiento de retención de aguas lluvias se utiliza el indicador de rendimiento de retención absoluto (RPI) el mismo que relaciona el volumen de precipitación y el volumen de escorrentía, el mismo que se expresa en la ecuación N°1

Ecuación 1. Indicador de rendimiento de retención absoluto (G. Martínez, 2016)

4.3 DISEÑO DE CUBIERTAS VEGETADAS:

Los techos verdes retienen las aguas lluvias mediante el almacenamiento de agua en la sección de cultivo o sustrato y en menor cantidad en el follaje mismo.

El agua lluvia es acumulada en el espacio poroso del sustrato por medio de las fuerzas capilares hasta que se transpire a través de la vegetación o evaporación a la atmosfera. La evotranspiración (ET). (Sims et al. 2016). Durante un evento de precipitación, una cantidad finita de agua lluvia ocupa el espacio poroso.

Una vez que la capacidad de almacenamiento del sustrato de una cubierta vegetada se cargue se producirá la llamada escorrentía o drenaje. El punto en que la capacidad de almacenamiento de los medios de crecimiento se llena, se cono-

ce como: “la capacidad de campo”. Este valor junto con la condición de medio de crecimiento de la humedad o déficit del suelo, -antes de un evento de precipitación- se denomina: “la condición de humedad con antecedente” (AMC por sus siglas en inglés: antecedent moisture condition) influyen directamente en la cantidad de retención de una cubierta vegetada en cualquier evento de lluvia. (Mompalmer y Doménech 2008)

El rendimiento de un techo verde, se mide por la cantidad del volumen de precipitación que se retiene en el sustrato del mismo. El comportamiento de una retención mejorada, reduce la escorrentía de aguas lluvias, ya que es necesario comprender esta medida para guiar la implementación de esta tecnología como un control de bajo impacto o LID (por siglas en inglés: low impact development). (Sims et al. 2016).

El rendimiento de la retención de agua lluvia a la que se ve sometido el sustrato depende directamente de la influencia del clima, sin embargo, sus valores son inciertos, por ejemplo, diferentes estudios se dice que la retención del agua lluvia en el sustrato dependen de: su altura, de la pendiente de la cubierta, la duración del estudio, el análisis de la ubicación, y componentes de la cubierta verde. Elementos que sirven para generar una estadística de retención de agua lluvia.

Por lo mencionado; Mentens en el 2006 reportó valores de retención anuales que van desde el 27% al 81% con un análisis de 18 estudios. Gregoire y Clausen en el 2011 indico una retención del 34% al 69% basado en 13 estudios. (Sims et al. 2016).

En términos generales, la literatura menciona un mayor porcentaje de retención para eventos de menor intensidad, ya que existe una mayor probabilidad de que la magnitud de una tormenta sea menor, que la capacidad de almacenamiento del sustrato. Se ha evidenciado una capacidad de retención de hasta el 97% en eventos de lluvias ligeros (es decir menores a 2mm), del 83%, para eventos medios (es decir de 2 a 6mm) y hasta del 52%, para eventos pesados (es decir mayores a 6mm). (Sims et al. 2016).

Los Techos Verdes son compuestos por una serie de capas ubicadas sobre el techo de una estructura, con el fin de interceptar y retener agua lluvia, para disminuir el volumen de escorrentía, atenuar el flujo y mitigar el fenómeno de isla de calor. Los cumplimientos de sus funciones son desempeñados gracias a su capacidad de:

- 1) Estanqueidad, 2) Drenaje, 3) Retención de agua, 4) Estabilidad Mecánica, 5) Nutrición y 6) Filtración.

4.3.1 CLASIFICACIÓN DE TECHOS VERDES

Se clasifican en tres tipos: intensivos, semi – intensivos y extensivos, los cuales dependen directamente del espesor del sustrato y del tipo de vegetación que lo alberga: (Mora 2012). (ver ilustración 18).

CONDICION	CUBIERTAS VERDES		
	Extensivas	Semi-Intensivas	Intensivas
Mantenimiento	Bajo	Periódico	Alto
Irigación	No	Periódico	Regular
Comunidades de Plantas	Musgos, Hierbas y Gramas	Grama, Hierbas y Arbustos	Césped, Arbustos y Arboles
Profundidad del sustrato	2 - 20cm	15 - 50cm	15 - 150cm
Peso	60Kg - 150 Kg/m ²	120Kg - 200Kg/m ²	180Kg - 500Kg/m ²
Costo	Bajo	Medio	Alto
Uso	Capa de Protección Ecológica	Cubierta Verde Diseñada	Parque / Jardín

Ilustración 18. Comparación de los distintos tipos de techo verde. (Carroll 2010)

4.3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Las capas que componen una cubierta verde pueden apreciar en las siguientes Ilustraciones, cuyos niveles que lo conforman son: 1) Loza, 2) Impermeabilizante, 3) Aislante Térmico (este componente puede ser eliminado, pues va a depender del lugar donde se emplace el inmueble ejemplo cercano a un aeropuerto a fin de aislar la contaminación auditiva), 4) Drenaje o Capa drenante geo compuesta o agregado permeable), 6) Filtro o geo textil filtrante, 7) Sustrato y 8) Vegetación. (Mora 2012). (Ver ilustración 19 y 20).

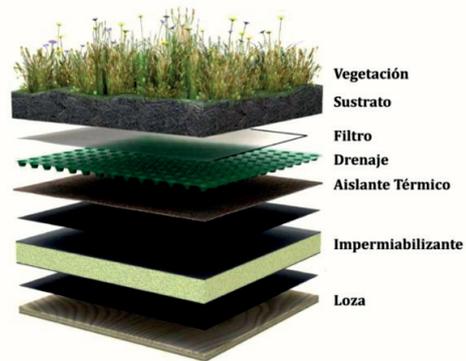


Ilustración 19. Esquema general de los componentes de un techo verde. (Arquitecturayempresa2014)

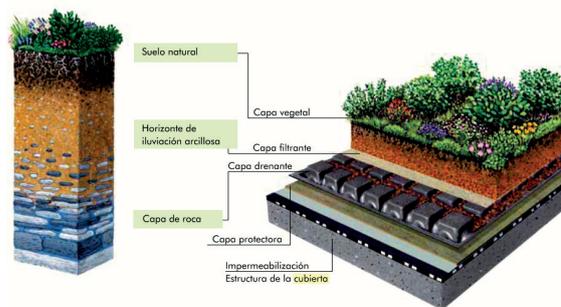


Ilustración 20. Esquema general de los componentes de un techo verde. (Zinco2009)

4.3.2.1 CAPA DRENANTE

En conjunto con el sustrato que conforma la cubierta verde, su objetivo es retener y drenar el agua lluvia con la suficiente capacidad de flujo que permita evitar el encharcamiento sobre la cubierta; para lo cual se emplean materiales granulares tales como grava y arena, arcilla expansiva y pizarra o roca volcánica y piedra pómez o láminas de plástico perfiladas (Mora 2012) (ver ilustración 21)

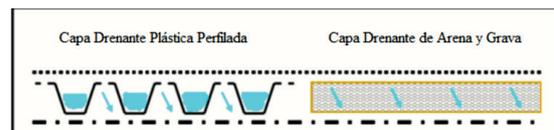


Ilustración 21. Elementos típicos usados como capa drenante. (Carroll 2010)



4.3.2.2 SUSTRATO

Esta capa debe tener entre 2 y 150cm de espesor, y debe estar compuesta por suelos de baja densidad con buena retención de agua y mezcla de materia orgánica (abono) y mineral (arcillas, piedras pómez), convirtiéndose en el medio ideal para el crecimiento de las plantas, permitiendo estabilidad mecánica, nutrientes, retención y drenaje de agua lluvia. (Mora 2012).

4.3.2.3 VEGETACIÓN

Es el componente principal de la cubierta verde, su elección dependerá del tipo de cubierta verde a ser utilizada, de las condiciones ambientales tales como temperatura y períodos de lluvia, y de la disponibilidad de nutrientes, con lo que se garantizará su supervivencia recomendando que ésta sea: (Mora 2012)

- Perenne.
- Tolerante a la sequía y de baja irrigación.
- Adaptable a suelos bien drenados.
- Auto sostenible.
- Rápida colonización.
- Resistente al fuego.

4.3.2.4 GESTIÓN DEL DRENAJE

El desarrollo de construcciones habitacionales impermeabiliza la capa subyacente de la planta baja con lo que eleva la estanqueidad y reduce la infiltración del suelo, resultado del incremento de volúmenes de precipitación – escorrentía y descargas máximas- pudiendo éstas causar inundaciones, las mismas que pueden ser solucionadas con sistemas muy costos.

Sin embargo, varias investigaciones han demostrado que los usos de las cubiertas verdes trabajan como retenedores de agua lluvia, reduciendo picos de escorrentía y extendiendo el retraso de la escorrentía. Para tener un enfoque específico; serán examinados los siguientes cambios en la relación precipitación – escorrentía: (Mora 2012).

Los procesos de almacenamiento radican en tres zonas dentro del compuesto del sustrato:

almacenamiento superficial, la detención y el almacenamiento sub-superficial.(Mora 2012)

•Almacenamiento superficial. - corresponde a la precipitación de agua lluvia captada por la capa vegetal la cual es restablecida a través de la evaporación y al ser excedida se infiltra al almacenamiento sub - superficial.

•Almacenamiento sub – superficial. - corresponde al volumen de agua que puede ser almacenada tanto por el sustrato como por la capa drenante y su capacidad de almacenamiento es restablecida por la evapotranspiración.

•Almacenamiento por detención. - es el exceso de agua que no puede ser almacenado y por consiguiente es conducido como flujo a través de la capa drenante.

4.3.3 RENDIMIENTO DE RETENCIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN LAS CUBIERTAS VERDES.

El rendimiento puede ser entendido como la retención de agua lluvia y la disminución de escorrentía superficial urbana. Para calcular este rendimiento, se utiliza el indicador de rendimiento de retención absoluto (RPI), el cual relaciona el volumen de precipitación y el volumen de escorrentía según lo expresado en la siguiente ecuación: (Mora 2012). (ver ecuación 1)

$$RPI = Vp - Ve$$

Ecuación 1. Indicador de rendimiento de retención absoluto.
Fuente Gonzáles 2016)

Donde:

Vp = volumen de precipitación.

Ve = volumen de escorrentía.

Para obtener el porcentaje de retención del sistema, se utiliza la siguiente ecuación: (ver ecuación 2)

$$RPI\% = \left(1 - \frac{Ve}{Vp}\right) * 100$$

Ecuación 2. Porcentaje de retención de escorrentía. (Fuente: Gonzáles 2016)



4.3.4 RENDIMIENTO DE LAS CUBIERTAS VERDES CON DESCARGA MÁXIMA DE AGUAS LLUVIAS.

Los tamaños de las estructuras de drenaje, podrían verse reducidas gracias a la disminución de la descarga pico o atenuación del hidrograma promoviendo un desarrollo urbano menos impactante a los cauces y evacuaciones de agua naturales. La reducción de la descarga pico (PDPI) puede expresarse como una reducción de descarga absoluta, (ver ecuación 3) y ésta puede ser comparada con el pico de la precipitación o descarga máxima de cubierta (ver ecuación 4). (Mora 2012) (Ver ecuación 3)

$$PDPI = P_o - f_{max}$$

Ecuación 3. Reducción de la descarga pico. (Fuente Gonzáles 2016)

Donde:

P_o = flujo pico de referencia o de precipitación.

f_{max} = flujo pico de cubierta verde.

$$PDPI \% = \left(1 - \frac{f_{max}}{P_o}\right) * 100$$

Ecuación 5. Porcentaje de reducción de la descarga pico. (Fuente Gonzáles 2016)

4.3.5 RENDIMIENTO DE LAS CUBIERTAS VERDES EN EL TIEMPO DE DETENCIÓN E AGUAS LLUVIAS.

La retención o demora de lluvia-escorrentía puede ser entendida como la diferencia entre el tiempo entre el inicio de la escorrentía de la cubierta verde o cubierta de referencia y el inicio de la precipitación. Para lo expuesto existe un indicador de rendimiento de retención (DPI) el cual se describe en la siguiente ecuación: (Mora 2012)

$$DPI = T_{ie} - T_{ip}$$

Ecuación 4. Indicador de rendimiento de retención. (Fuente Gonzáles 2016)

Donde:

T_{ie} = tiempo de inicio de la escorrentía

T_{ip} = tiempo de inicio de la precipitación

4.4 NORMATIVA INTERNACIONAL QUE APLICA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO:

4.4.1 NORMAS ASTM:

- E2396, Método para evaluar la permeabilidad del agua saturada de drenajes granulares (método con descarga variable) para sistemas de techos con vegetación (verdes), para comparar un medio con otro.

- E2397, Método para determinar las cargas permanentes y variables asociadas con los sistemas de techos con vegetación (verdes), para ayudar a evaluar la construcción debajo de la carga en cuanto a factores como el diseño estructural según el peso del sistema sin y con lluvia o riego.

- E2398, Método de prueba para la captación de agua y la retención de medios de capas de drenaje de geo compuestos para sistemas de techos con vegetación (verdes), para ayudar a evaluar el desempeño de un sistema en relación con otro, como también para evaluar las exigencias de riego para diseños de sistemas.

- E2399, Método para evaluar la densidad máxima de medios para el análisis de cargas permanentes de los sistemas de techos con vegetación (verdes), que brinda un objetivo de medición de la densidad de los medios para calcular cargas estructurales.

- E2400, Guía de selección, instalación y mantenimiento de plantas para sistemas de techos verdes, que incluye recomendaciones sobre la elección, plantación y riego de las plantas que crecen en techos con vegetación.

- E2788, (La más reciente) Especificación para usar esquisto, arcilla y pizarra expandidos (ESCS, por sus siglas en inglés) como com-



ponente mineral en medios de crecimiento y la capa de drenaje para sistemas de techos con vegetación (verdes), que detalla exigencias de calidad y gradación (ASTM 2017).

4.4.2 NORMAS ISO:

ISO/TC59/SC17 "Sustainability in building construction" e ISO/TC 205 "Building environmental design".

- TC 59 Buildings and civil engineering works
- TC 205 Building environment design.
- TC 268 Sustainable development in communities.
- ISO 15392:2008 - Sustainability in building construction. General principles.
- ISO 21929-1:2006 - Sustainability in building construction. Sustainability indicators. Part 1: Framework for development of indicators for buildings.
- ISO 21930:2007 - Sustainability in building construction. Environmental declaration of building products.
- ISO 21931-1:2006 - Sustainability in building construction. Framework for methods of assessment for environmental performance of construction works -- Part 1: Buildings.
- ISO 16818:2008 - Building environment design. Energy efficiency. Terminology.
- ISO 23045:2008 - Building environment design. Guidelines to assess energy efficiency of new buildings. (Trama 2013).

4.4.3 NORMA EUROPEA:

CEN /TC 350-4 Sostenibilidad de las obras y construcción (CEN 2017).

En Alemania se implementó la tecnología de las cubiertas verdes, normando su uso para lo cual

se editó el GUIDELINE FOR THE PLANNING, EXECUTION AND UPKEEP OF GREEN ROOF con la creación de detalles, guías, normas, materiales y técnicas para la planificación, construcción y mantenimiento de cubiertas verdes, el mismo que fue publicado en 1990. (Carlos et al. 2011)

De igual manera la ASTM expuso la norma para el método de prueba estándar calcular la densidad máxima y mínima de la carga muerta y análisis de la vegetación de un sistema de cubierta verde ("Standard Test Method for Maximum Media Density for Dead Load Analysis of Vegetative (Green) Roof Systems"). (ASTM 2015)

FLL: Forschungsgesellschaft Landsentwicklung Landschaftsbau e.V. Bonn (Alemania) Reglas generales para el planeamiento y la ejecución de cubiertas ajardinadas. Primera edición 1982, ampliación y normativas para cubiertas vegetales extensivas 1990.

Normas internacionales para la construcción de cubiertas planas y su impermeabilización (AENOR) España, ZVDH (Alemania).

DDV Deutscher Dachgärtner Verband e.V., (Dachgärtnerrichtlinien 1985) para cubiertas extensivas.

NTJ 11C NORMAS TECNOLÓGICAS DE JARDINERÍA Y PAISAJISMO sobre cubiertas verdes, enero 2012. (FLL 2015).

4.4.4 NORMA LATINOAMERICANA:

- En Brasil, el gobierno expuso reformas de legislación sobre la divulgación y uso de estos sistemas de cubiertas verdes en grandes ciudades brasileñas, el estado de Santa Catarina, el gobierno local aprobó la ley No.- 14.243 de 11 de diciembre del 2007, que dispone sobre implementación de sistemas naturales por medio de la construcción de cubiertas verdes en espacios urbanos. En el estado de Sao Paulo, proyectos de ley fueron presentados en la capital. El Proyecto-



to de ley No 115/2009 que dispone sobre el uso obligatorio de tejados verdes para edificaciones superiores a las tres plantas y en el Municipio de Sao Caetano-SP desde el año 2009, dispone sobre la instalación de cubiertas verdes sobre residencias y zonas comerciales más allá de un proyecto de ley federal, que sugiere directrices y obliga al uso de cubiertas verdes para centros urbanos brasileños con más de 500 mil habitantes. (Carlos et al. 2011).

•En Chile, el Instituto Nacional de Normalización (INN), concluyó con el proyecto de la “Elaboración de Normas Chilenas sobre Uso Eficiente de la Energía en Sector Industrial y Residencial”, en donde se elaboraron 52 nuevas normas referentes a aislamiento térmico, construcción sustentable, artefactos domésticos y equipos industriales, han tomado como lineamiento las normativas internacionales y las normas ISO especificando los métodos de cálculo y de ensayo. El cambio más notorio se estableció en la norma NCh853, relacionada con el acondicionamiento térmico, la envolvente térmica, cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.(DUNKER D et al. 2007)

•En Argentina, se ha comenzado a establecer normativas sobre el uso de las cubiertas verdes, es así que en Buenos Aires se constituyó en el año 2012, la ley 4428, la misma que menciona el uso de las cubiertas o terrazas verdes, el mismo que deduce de una reducción de hasta el 20% del costo de las tasas por alumbrado, barrido y limpieza. Así también en la ciudad de Neuquén, se presentó un proyecto de ordenanza y una condonación del 15% del cobro de tasas aplicadas a los servicios de propiedad de inmueble o pago al predio. (NEUQUEN ARGENTINA 2011). En Colombia, en la ciudad de Bogotá se instaló aproximadamente 32.000m² de techos verdes ubicados en edificios privados como hoteles, restaurantes y centros comerciales, entre los cuales se destaca la labor de la Secretaría Distrital de Ambiente, que, en el año 2010, construyó 1.400m² en terrazas de edificaciones, esto para dar cumplimiento de las disposiciones del Acuerdo Ministerial 418 emitido en el año 2009.

La subdirección de Eco-Urbanismo y Gestión Ambiental Empresarial, desarrolló durante el año 2013, la campaña “una piel natural para Bogotá”, campaña que se basa en los decretos 959 de 2000, 506 de 2003 y demás normas que establecen el uso de esta publicidad . Para el año 2011, se publicó la “Guía Técnica de Techos Verdes”, en donde se establecen los requisitos y recomendaciones técnicas para garantizar la calidad y el buen funcionamiento de este tipo de elementos en el Distrito Capital; para que luego en el año 2014, se publique “Guía de Techos Verdes y Jardines Verticales” (Mora 2012).

4.4.5 NORMAS NACIONALES:

Dentro del país rige la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC la misma que actualmente se establece en la NEC15, sin embargo, no contiene apartados para el manejo de cubiertas verdes en especial, sin embargo, menciona los coeficientes para diseño estructural de tierra húmeda y saturada y jardines sobre losas de tránsito, valores que serán comparadas en el análisis de resultados.

4.5 TIPOS DE CUBIERTAS VERDES:

Para determinar el tipo de cubierta verde se deberá tener presente características tales como tipos de clima, accesibilidad a sistemas de riego, tipo de vegetación a ser implantada, tipos y pendiente de cubiertas, estructuras soportantes, etc. Bajo estas características se entenderá a tres tipos de cubiertas verdes: las extensivas, las intensivas y las semi-intensivas

4.5.1 CUBIERTAS VERDES EXTENSIVAS:

Se caracterizan por constar de una vegetación tapizante de plantas que en su mayoría se recomienda sean autóctonas debiendo estas ser resistentes, ya que las cubiertas pueden estar sometidas a fuertes vientos, heladas o excesiva radiación solar.

El mantenimiento de dichas cubiertas es muy reducido pudiendo componerse de dos o tres

inspecciones al año en donde se recomienda un riego por sistema de goteo.

Las características de este tipo de cubierta son las siguientes: (Carlos et al. 2011). (ver ilustración 22)

- Sustrato delgado desde los 2 a los 20cm de espesor y resistente a condiciones de clima extremo.

- Vegetación herbácea, rastrera y resistente al medio en donde se implante; entre los cuales

podemos mencionar a las gramíneas, crasuláceas y pequeños arbustos.

- Cero mantenimientos de vegetación.

- Carga estructural aproximada de 60 a 150kg/m².



Ilustración 22. Cubiertas verdes extensiva (Zinco 2009).

4.5.2 CUBIERTAS VERDES INTENSIVAS:

En este tipo de cubierta se incluye a toda la vegetación existente es decir desde el césped hasta la plantación de árboles de gran follaje combinando con cargas vivas o personas, vehículos o cargas muertas como estanques, lagunas o piscinas asentadas sobre las losas que lo conforman

Las características de este tipo de cubierta son las siguientes: (Carlos et al. 2011) (ver ilustración 23)

- Sustrato grueso con profundidad de 15 a 150cm.

- Cabida a un gran tipo de vegetación como árboles, arbustos y flores.

- Costo de mantenimiento elevado y de forma periódica.

- Carga estructural varía entre los 180 a 500kg/m².

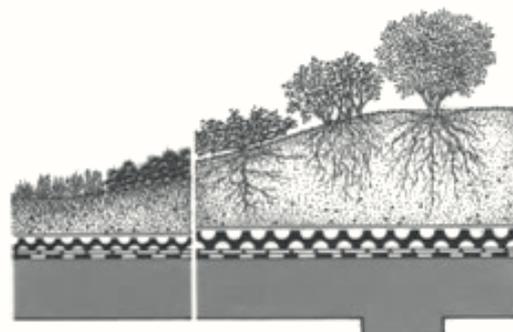


Ilustración 23. Diagrama de altura de sustrato para cubiertas intensivas de acuerdo a la vegetación utilizada. (ZINCO 2009)

4.5.3 CUBIERTAS VERDES SEMI INTENSIVAS

La plantación semi intensivas se compone de algunas especies de vegetación compuesta de arbustos pequeños y plantas aromáticas permitiendo al usuario formar una plantación con diseño conceptual.

El sustrato deberá componerse de elemento que retengan agua y con un mantenimiento mínimo para asegurar el mantenimiento de la vegetación, riego y desagües.

Se recomienda hacer un riego por goteo asegurando la constante humedad de la capa vegetal. Las características de este tipo de cubierta son las siguientes: (Carlos et al. 2011) (ver ilustración 23)

- Sustrato grueso con profundidad de 15 a 50cm.

- Cabida a vegetación como arbustos, hierbas, gramas flores.

- Costo de mantenimiento elevado y de forma periódica.

Carga estructural varía entre los 120 a 200kg/m².

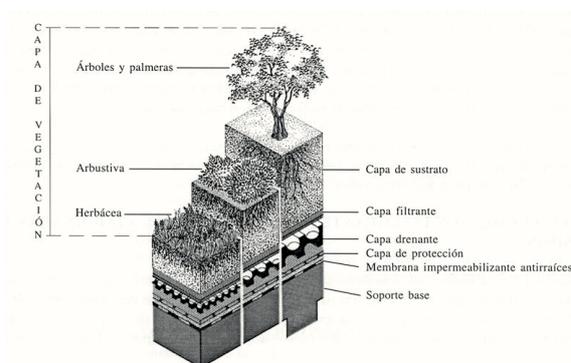


Ilustración 24. diagrama de tipos de cubierta en relación al alto del sustrato (Zinco 2009)

ELECCIÓN DEL TIPO DE VEGETACION:

Para la elección del tipo de vegetación que se utilizara como cobertura en una cubierta vegetal, se deberá tener en cuenta aquella vegetación que: no perezca ante situaciones climáticas extremas, se ajustes a espacios limitados, profundidad corta de los sustratos y que sobreviva a la ausencia de nutrición y riego.

Que favorezca con sus funciones ecológicas, así como también por su estética luego de la implantación y que sobre todo sea económico. (Carlos et al. 2011).

Dentro las limitaciones que se puede determinar, se encuentran:

1. Construcción de las parcelas de ensayo de acuerdo a los proyectos base; descritos anteriormente cuyas maquetas fueron elaboradas con materiales como acero, cemento, y con la ayuda de dispositivos tales como pluviómetros, balanzas digitales y cuya información fueron recopilada de forma remota o por red de internet con la ayuda de una red wifi.

a) Para la construcción de las parcelas, se construyó anteriormente dos prototipos de parcela de ensayo con un área de 1,00 m² y utilizando como material madera y metal. Sin embargo, se encontró dificultades como agua lluvia absorbida por el mismo material, filtraciones o fugas de agua, oxidación, deformación de la maqueta, peso excesivo que dificultaba tomar datos sobre el peso de la parcela.

- Por lo que se decidió utilizar parcelas de ensayo de material de poliestireno expandido por su comportamiento ante la intemperie, por su resistencia ante el peso del sustrato en estado seco y saturado, por su facilidad de transporte y peso manejable.

- Ahora si bien el área de cobertura de una parcela de ensayo es de apenas 0.07935 m² y con un peso máximo medido de 10.48kg; son valores que permiten la maniobra de la maqueta, puesto que los ensayos de referencia no entregan valo-



res de peso, no obstante, es menos representativa de la construcción

2. Toma de datos en eventos de lluvia

a) La programación para la toma de datos durante los eventos de lluvia; fue previsto para los meses de abril, mayo y junio; meses de época invernal.

b) Hubo información que debió ser descartada y no pudo ser evaluada ya que los eventos de lluvia fueron captados sobre los dos prototipos antes mencionados. Por lo que se redujo el tiempo y número de eventos de lluvia.

• Es así que se dispuso de 5 eventos de agua lluvia de los cuales dos fueron de larga duración y fuerte precipitación; superando las 12 horas de lluvia

3. Producción de lluvia artificial mediante un simulador.

a) Con el afán de realizar más tomas de datos, se expuso el uso de un simulador de lluvia artificial.

• El protocolo para la validación del sistema comprende en una altura comprendida entre los 5,00m y los 20,00m de altura. El diámetro de las gotas debe comprender entre 5mm y 8mm para que sea catalogada como lluvia tipo y el evento de lluvia debía ser expuesto a tres tipos de vientos. Sin embargo, en el medio no se encontró este sistema como medio de experimentación.

• Por lo descrito se desistió del uso del mismo, dando por utilizado los 5 eventos de lluvia expresados más adelante.

4. Vegetación utilizada en las parcelas de ensayo

a) De acuerdo a los proyectos utilizados como base de ensayo, los cuales utilizan diferentes tipos de vegetación y alturas de sustratos.

• Con el asesoramiento del Ing. Agro. MsC. Ernesto Lovato Zambrano se expuso el uso de una sola especie vegetal y cuya supervivencia dependía de la composición y altura del suelo con lo que se limitó las variables de los resultados expuestos

4.6 DATOS GENERALES DEL ÁREA DE INFLUENCIA

4.6.1 ÁREA DE ESTUDIO:

El ensayo se emplazó en el punto geo-referencial WGS84 X=728094 Y=9681864, en las calles Venecia y calle Pucuhayco, sector Ucubamba, parroquia Carmen de Sidcay, Ciudad Cuenca, provincia del Azuay.

4.6.2 CLIMA:

El clima predominante en la ciudad de Cuenca es el ecuatorial mesotérmico semi húmedo, el cual ocupa el 52% de la superficie del territorio, caracterizado por sus temperaturas irregulares, siendo las más elevadas en los meses de marzo y septiembre y los meses de junio y julio los más bajos con temperaturas que oscilan entre los 18°C y 22°C. (GAD-Municipal-Cuenca 2011).

4.6.3 BIOCLIMA

El cantón se ubica geográficamente en tres tipos de bioclimas correspondiendo la zona de estudio al bioclima pluvioestacional el mismo que hace referencia a la zona que presenta lluvias en las épocas de alta pluviosidad y teniendo una estación seca. Es por estos que Cuenca con dos estaciones lluviosas que recogen menos de 500mm al año. (GAD-Municipal-Cuenca 2011). (ver ilustración 24).

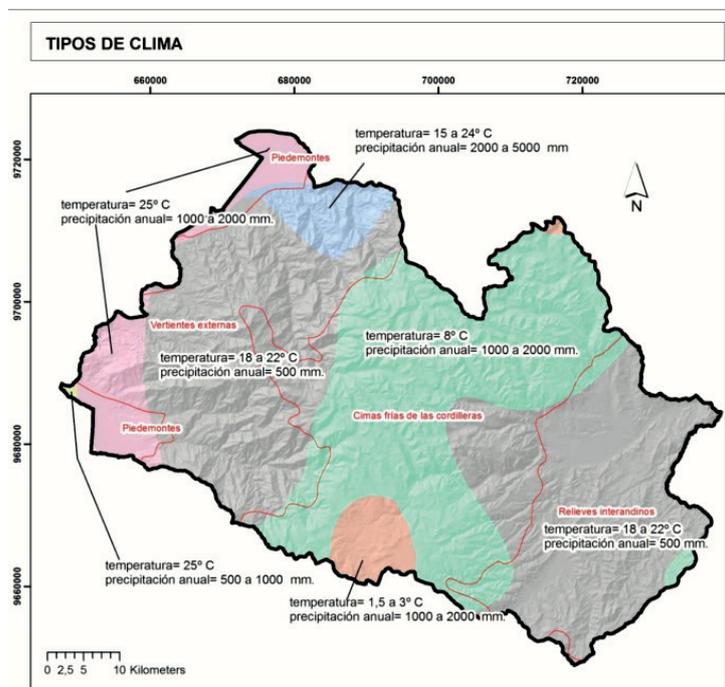


Ilustración 25. TIPOS DE CLIMA
(FUENTE PDyOT GAD MUNICIPAL DE CUENCA, 2010)

4.6.4 EROSIÓN

La erosión producto del disgregamiento del suelo producido por efectos naturales tales como lluvia, inundaciones, encharcamiento o viento. Según el plan de desarrollo y ordenamiento territorial realizado por el GAD Municipal de Cuenca, menciona que en el cantón se ha identificado una extensión de 5113,36 ha correspondientes a tres áreas: áreas en proceso de erosión, área erosionada y área fuerte mente erosionada (GAD-Municipal-Cuenca 2011).

4.7 MATERIALES

4.7.1 IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LA VEGETACIÓN PARA LOS SISTEMAS DE CUBIERTAS VERDES:

Se determinó de forma directa el uso de la especie vegetal denominada: Pennisetum clandestinum (Kikuyo), puesto que la misma cumple los siguientes criterios: crecimiento rápido, buena

capacidad de absorción, resistencia a periodos largos de sequía y capacidad de supervivencia bajos periodos largos de intensa radiación solar. La especie ser plantada en tres tipos de sustratos de igual altura y composición; pero con aliviadores explicados a detalle más adelante.

4.7.2 COMPOSICIÓN DE SUSTRATO:

Para la composición del sustrato se utilizó como unidad/herramienta de medida “la palada” (a fin de dosificar en igual volumen las materias que conforman el sustrato) con lo cual los sustratos fueron compuestos bajo la siguiente distribución:

1. Se utilizó una 1 palada de suelo agrícola, determinado así por su composición química rica en nutrientes como nitratos, amonio, fósforo, potasio, magnesio, calcio, sodio, cloruro y otros. Además de las bacterias u hongos que la componen conformando así un suelo con un PH aproximado de 7.

El término pH proviene de la abreviación “pon-

dus hydrogenii” traducido como potencial de hidrogeno, puede decirse que el pH “ideal” está entre 6 y 7 (González y Segat 2010).

El pH varía desde 0 a 14 y de acuerdo a suelos ácidos con un pH inferior a 6,5, suelos neutros con un pH entre 6,6, y 7,5 y un suelo básico con un pH superior a 7,5.

2. Generar Textura al suelo. La Textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla en el suelo. La textura tiene que ver con la trabajabilidad del suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa (Single 2008).

Por estas características se colocó 1 palada de arena al suelo agrícola a fin de dotarle de permeabilidad.

3. Abono orgánico (fertilizantes desarrollados a base de excremento de gallina, ganado vacuno, cuy o lombricultura), son agentes inoculantes de microorganismos para compostaje, las excretas son procedentes del tracto intestinal, siendo estos productos de la mezcla entre sólidos y líquidos, lo que le convierte en un contenido de nitrógeno especialmente alto llegando a valores pH entre 7 y 8.

Por esta razón, se colocó $\frac{1}{4}$ de palada de abono orgánico con el fin de inyectar nutrientes como potasio, fósforo y potasio de sodio.

4. Colocación de fertilizantes, entiéndase éste, por la introducción del mantillo; aquel abono biológico natural destinado a la jardinería, preparado por material (hojas de árboles, cortezas y demás) en descomposición incompleta y en condiciones anaeróbicas. (Vegetales 2008).

Se procedió a colocar $\frac{1}{4}$ de palada de tierra de hojas (turba o mantillo) los mismos que son provenientes de la costa, siendo éste hojas en proceso de descomposición con el fin de dotar al sustrato un pH7.

5. Incluir CAL al sustrato: la cal es un elemento excepcional para neutralizar la acidez de algunos suelos. Mejora la estructura granular sobre todo en los arcillosos, los hace menos compactos y los ahueca, facilitando la absorción el agua de la lluvia. (Tecnicoagricola.es 2013) .

Por lo mencionado se mezcló $\frac{1}{8}$ de palada de cal (o carbonato de calcio) con el objeto de mantener la humedad y flexibilidad del sustrato. (ver ilustración 26)



Ilustración 26. Suelo agrícola, Abono orgánico, hojas de árboles en estado de descomposición, cal.
(Fuente Elaboración Propia)

1. Alivianadores o acumuladores de agua lluvia: el sustrato captará líquido en un evento de lluvia, con un tiempo determinado para el traspaso del agua lluvia desde la parte superior a la parte inferior del componente del sustrato. Por esta razón se decidió probar con tres materiales diferentes, que, mezclados con el sustrato, provoquen alivianar el peso del sustrato en estado saturado de líquido. (ver ilustración 27, 28 y 29) Es por esta razón que se dispuso utilizar 1 pala-

da de: ladrillo, poliestireno expandido (espuma Flex) y piedra pómez triturado y mezclarlo con el sustrato.

Ladrillo común, por sus características higro-térmicas: con un nivel de absorción máximo de humedad de 16% a 25% de acuerdo a la norma NTE0293 y densidad de 1.800 kg/m³ (Ilustración 27) (Carrera 2015).



Ilustración 27. Ladrillo común triturado (Fuente propia)

a) Poliestireno expandido (espuma Flex) con un nivel de absorción entre el 1% al 3%, y una densidad de 35kg/m³ (Ilustración 28) (textos científicos 2017).



Ilustración 28. Poliestireno triturado (Fuente Propia)

a) Piedra pómez con un nivel de absorción del 21,45% y con una densidad compactada de 1.380kg/m³ (Fernando y Ortega 2011) (ver ilustración 29)



Ilustración 29. Piedra Pómez triturada (Fuente Propia)

4.7.3 SELECCIÓN DEL MATERIAL Y TAMAÑO DE LAS PARCELAS DE ENSAYO:

Se utilizó cubetas de poliestireno expandido que servirían como parcelas de ensayo para el almacenaje de los diferentes sustratos. Esto en razón que características tales como: el tamaño, peso, traslado, facilidad para la obtención de pesos y medidas, durabilidad del material que lo compone frente a los cambios climáticos o exposición a la intemperie; presentan mejores opciones a materiales como madera, hormigón o metal, materiales que fueron utilizados en experimentaciones antes mencionadas.

Las parcelas de poliestireno expandido (EPS) con una medida de 34.50cm de largo, por 23.00cm de ancho y 27.00cm de alto; con un espesor de 2.50cm. El área de cobertura de cada parcela es de 0.0793m² y 0.32m² en total de las cuatro parcelas y con un volumen igual a 0.13m³.

Su capacidad de volumen fue seleccionada por su durabilidad, facilidad de manejo y transporte,

esto debido a que antes de este material se desarrolló 2 experimentaciones anteriores con probetas en madera y metal las mismas que fueron fallidas ya sea por su tamaño y/o cambio de su composición física y química al estar expuestas a la intemperie.

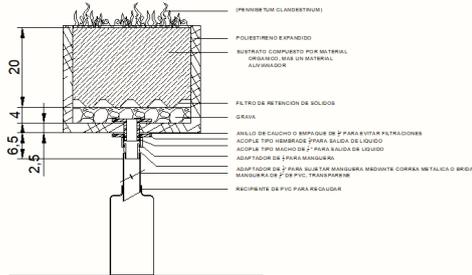
Su aislante térmico se conforma por aire en celdas cerradas y de escasa conductividad térmica soportando cambios climáticos que van desde -190°C a los+85°C. (Térmicas 2017)

No posee capilaridad alguna a fin de evitar acumulación de líquidos en paredes y base de la parcela, descartando cualquier valor residual que por este factor pudiera suscitarse. El poliestireno expandido no es higroscópico, a diferencia de lo que sucede con otros materiales del sector del aislamiento y embalaje. Incluso sumergiendo el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos con valores oscilando entre el 1% y el 3% en volumen (ensayo por inmersión después de 28 días). Al contrario de lo que sucede con el agua en estado líquido el vapor de agua sí puede difundirse en el interior de la estructura celular del EPS cuando entre ambos lados del material se establece un gradiente

de presiones y temperaturas. (textos científicos 2017).

La radiación ultravioleta es prácticamente el único factor que reviste importancia. Bajo la acción prolongada de la luz UV, la superficie del EPS se torna amarillenta y se vuelve frágil, de manera que la lluvia y el viento logran erosionarla. Dichos efectos pueden evitarse con medidas sencillas, en las aplicaciones de construcción con pinturas, de revestimientos y recubrimientos. (textos científicos 2017).

Se logra resistencia mecánica a los esfuerzos mecánicos como flexión, tracción, esfuerzo cortante y fluencia a la compresión. (ANAPE 2017). (ver ilustración 30 y 31).



CORTE ELEVACIÓN DEL SISTEMA DE PARCELAS DE ENSAYO

Ilustración 30. Detalle Técnico de la parcela de ensayo (Fuente Propia)



Ilustración 31. Parcelas de ensayo colocadas hacia abajo debido a los conectores de desagüe (Fuente Propia)

Una vez entendido las características de cada elemento que conforma el sustrato, se procedió con la mezcla de los mismos. Con la ayuda de una carretilla se realizó la mezcla conformando un solo material uniforme. Se colocó el mismo en cada una de las parcelas y a su vez se las mezcló a este material con los diferentes alivianadores. (ver ilustración 32)



Ilustración 32. Con la ayuda de una carretilla se elaboró un material uniforme (Fuente Propia).

Por lo mencionado se procedió con la mezcla de todos los componentes que conformaron las diferentes parcelas de ensayo más los diferentes alivianadores, determinando los pesos de acuerdo a la tabla N°12 (ver tabla 12) (ver ilustración 38) de cuadro de pesos.

Para el ensayo se preparó 3 parcelas con sus respectivos sustratos y alivianadores y una parcela de testigo. (ver ilustraciones 33,34,35,36 y 37) Se replantó la capa vegetal (Kikuyo) y cada una de las parcelas presentó diferentes pesos de acuerdo al siguiente cuadro:



Ilustración 33. Proceso de mezcla de cada componente (Fuente Propia)



Ilustración 34. Colocación de alivianadores en mitad del sustrato (fuente Propia)



Ilustración 36. Colocación de la especie vegetal Kikuyo (Fuente propia)



Ilustración 35. Colocación de sustrato con alivianador sobre cama de grava de diámetro promedio $\frac{3}{4}$ (Fuente Propia).



Ilustración 37. Parcelas de ensayo con sustratos diferentes y Kikuyo como especie vegetal con un alto promedio de 5cm (Fuente Propia).

CODIGO	SUSTRATO CON ALIVIANADOR	PESO DE PARCELA SIN SUSTRATO	SOPORTE DE AYUDA PARA TOMA DE PESO	PESO MEDIDO	PESO DE SUSTRATO SIN AGUA LLUVIA
		KG	KG	KG	KG
A	TESTIGO	0,23	0,36	0,59	0,00
B	LADRILLO	0,27	0,36	11,11	10,48
C	POMEZ	0,27	0,36	10,21	9,58
D	POLIESTIRENO EXPANDIDO	0,27	0,36	9,80	9,17

Tabla 9. Cuadro de los pesos de los diferentes sustratos con sus respectivos alivianadores (Fuente propia)

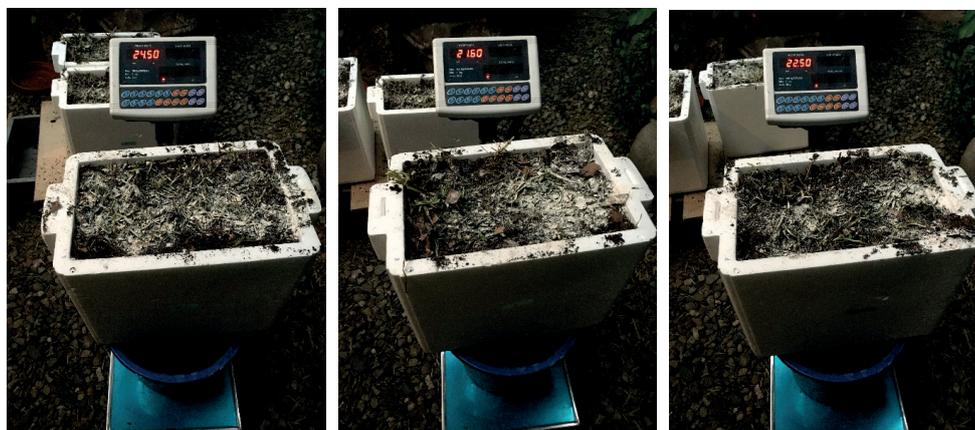


Ilustración 38. Toma de peso de cada parcela de ensayo con la ayuda de un soporte debido al sistema de desagüe de la parcela (Fuente propia) (Nota: Las medidas fueron convertidas a kilogramos)

4.7.4 ESTABLECIMIENTO DEL ENSAYO A CAMPO.

1. Estructura sobre la cual se estableció el ensayo: Mesa de Madera.

-El ensayo se estableció sobre una mesa de madera tratada para evitar deterioros por cambios ambientales extremos. Sus dimensiones son de 50cm x 70cm y de 50cm de altura y con estructura de madera soportante.

-La base de la mesa fue dividida en 4 secciones iguales de 25cm x 35cm cada una. Y en el centro de cada sección se realizó una perforación de 3cm con el fin de atravesar las mangueras de las parcelas de ensayo.

-La mesa fue con una pendiente 0%, pendiente

te que fue determinada con un nivel Láser De Puntos GPL 5 Professional Marca Bosch a fin de evitar distorsión en la obtención de datos. (ver ilustración 40)

2. Drenaje:

-Para la instalación de los drenajes se realizó una perforación en el centro de la base de las parcelas con un diámetro de 2.5cm.

-Se colocó un conector de salida de PVC de diámetro de 1 pulgada (conector que se utiliza para tanques de reserva de agua) para desagüe; puesto que el mínimo utiliza un sistema de mordazas (perno y arandela) con un empaque de caucho para evitar filtraciones líquidas. Con lo que el adaptador macho recibirá al adaptador “hembra – macho” para mangueras de PVC; y asilados con cinta de teflón. (ver ilustración 39)



Ilustración 39. Sistema de desagüe para evacuación de aguas lluvias (Fuente Propia)

-Al adaptador fue colocada 20cm de manguera puesto que esta debería desembocar en el interior de los receptores de agua o bidones los mismos que suman una altura de 40cm. El material de estas mangueras es de PVC de 1 pulgada sujeta al adaptador mediante una abrazadera metálica de ajustes por rosca.

Receptores de agua lluvia fueron utilizados 4 (cuatro) bidones de PVC cada uno con una capacidad de 3.78 litros, capacidad que fue utilizada por su manejabilidad y transporte, así como el hecho de ser colocados en la parte inferior de la mesa de ensayo.



Ilustración 40. Mangueras de PVC de 1" conectadas a Bidones recolectores de 3.78lts cada uno. (Fuente Propia)

3. Para la medición de los resultados

-Luego de cada evento de lluvia se realizaron las mediciones de la cantidad de agua lluvia recolectada en los bidones para lo cual se realizó bajo el siguiente protocolo:

- Con la ayuda de una filmación en formato de alta definición se grabó todo el procedimiento y cantidades contabilizadas y posterior remediación de tiempos.

- Con la ayuda de una probeta de 250ml se midió

el líquido captado en cada bidón. (ver ilustración 41 y 42)



Ilustración 41. Uso de probeta de 250mls y bidón. /Fuente Propia)

- Con la ayuda de una balanza electrónica de capacidad máxima de 200kg y tamaño de plataforma de 40 x 50 cm, se procedió a pesar la parcela en estado saturado, para lo cual se debió restar el peso de la parcela, menos el peso de soporte de ayuda (adaptador macho impedía la estabilidad de la parcela). (ver ilustración 38)



Ilustración 42. Distribución de las cuatro parcelas de ensayo, tres contienen kikuyo como elemento de remate, y uno es testigo.





5 CAPÍTULO CINCO

RESULTADOS PARCIALES OBTENIDOS:

En lo referente a la recolección de agua lluvia y captada por los bidones se desarrolló entre los meses de mayo a junio en un número de 5 eventos principales cuyo cuadro se expone más adelante.

5.1.1 DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA:

La información primaria es obtenida de los valores de escorrentía; se encuentra demostrada en la tabla N°13, correspondiente a datos de caudal de agua lluvia, peso del sustrato y escorrentía. Con base a dicha información se desarrolló las diferentes hidrógrafas de caudal de escorrentía de agua lluvia analizando la retención del líquido TABLA N°14 y pesos de los diferentes sustratos de cada una de las parcelas de ensayo TABLA N°15, con el fin de obtener un rendimiento hidrológico.

RECOLECCION DE LA INFORMACION PRIMARIA DE PARAMETROS DE ESCORRENTIA				
TIEMPO	PRECIPITACION	PESO DEL SUSTRATO SATURADO	LIQUIDO RETENIDO	LIDUIDO VERTIDO
(h)	ALTURA (mm)	KG	ml	ml

Tabla 10. TABLA PARA RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA DE ACUERDO A LA ESCORRENTIA

RECOLECCION DE LA INFORMACION PRIMARIA DE PARAMETROS DE ESCORRENTIA	
PRECIPITACION	DISMINUCION DE ESCORRENTIA
(mm)	(%)

Tabla 11. TABLA PARA RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA DE ACUERDO AL PORCENTAJE DE ESCORRENTIA

RECOLECCION DE LA INFORMACION PRIMARIA DE PARAMETROS DE ESCORRENTIA	
PESO SUSTRATO CON ALIVIANADOR	
SECO	SATURADO
Kg	Kg

Tabla 12. TABLA PARA RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA DE ACUERDO AL PESO DE SUSTRATO EN ESTADO SATURADO.

5.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

En esta fase de la metodología se comparará la información primaria con la secundaria; información que fue obtenida de diferentes artículos científicos recopilados y que son expuestos en la revisión bibliográfica.

5.2.1 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS

La comparación se desarrolló a las características y parámetros relacionados con la disminución de caudal de escorrentía, y peso de sustrato entre la información recolectada y los resultados de la información recopilada en el estado del arte.

5.2.2 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

De esta manera con el desarrollo de cada uno de los puntos descritos en la metodología fue posible obtener las siguientes variables:

1. Eficiencia de las cubiertas verdes medidas en

las parcelas de simulación de acuerdo a la disminución de escorrentía de agua lluvia y peso de cubierta en estado saturado.

2. Comparación de los resultados obtenidos con los aquellos revisados en el estado del arte.

5.3 RESULTADOS

Los resultados son expuestos en base a la revisión de la bibliografía (estado de arte) y elaboración experimental descrita en la metodología. La recopilación de la información referente a datos de la captación de agua lluvia en las parcelas de ensayo se desarrolló entre los meses de mayo y junio del 2017 en un tiempo de 5 eventos de lluvias caídas sobre la ciudad de Cuenca Ecuador recolectando información correspondiente a intensidad de precipitación, escorrentía y volumen de retención.

En el siguiente cuadro (ver tabla 13) se expone la fecha, precipitación y duración de los eventos de lluvia, cabe resalta que se tuvo tres eventos de lluvia con una duración superior a las 12 horas siendo este evento de carácter atípico en la ciudad.



INVENTARIO DE PRECIPITACIONES			
FECHA	PRECIPITACION	DURACION	INTENSIDAD
	(mm)	(h)	(mm/h)
lunes, 8 de mayo de 2017	64,33	4,5	1,43
martes, 9 de mayo de 2017	66,94	21	3,19
lunes, 15 de mayo de 2017	137,51	13	10,58
jueves, 18 de mayo de 2017	113,32	16	7,08
Sábado, 6 de junio de 2017	55,93	8	6,99

Tabla 13. INVENTARIO DE PRECIPITACIONES

De esta manera se observa que los días 15 y 18 de mayo se observa eventos de lluvias representativas para el estudio pues son aquellas con mayor duración, pero menor intensidad. Precipitaciones de 137.51mm y 113.32mm de agua lluvia, intensidades de 10.58mm/h y 7.08mm/h en periodos de 13 y 16 horas respectivamente. (ver tabla de la 17 a la 24).

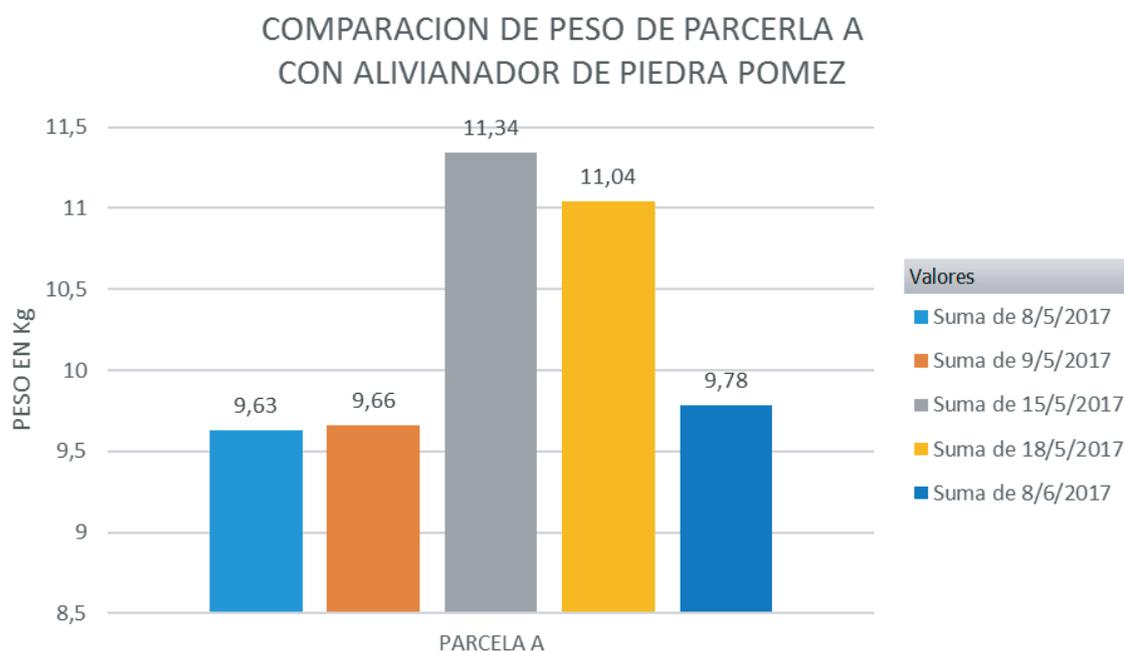


Tabla 14. COMPARACION DE PESOS ENTRE SUSTRATO SECO Y SATURADO DE LA PARCELA "A" EN CADA EVENTO DE LLUVIA.

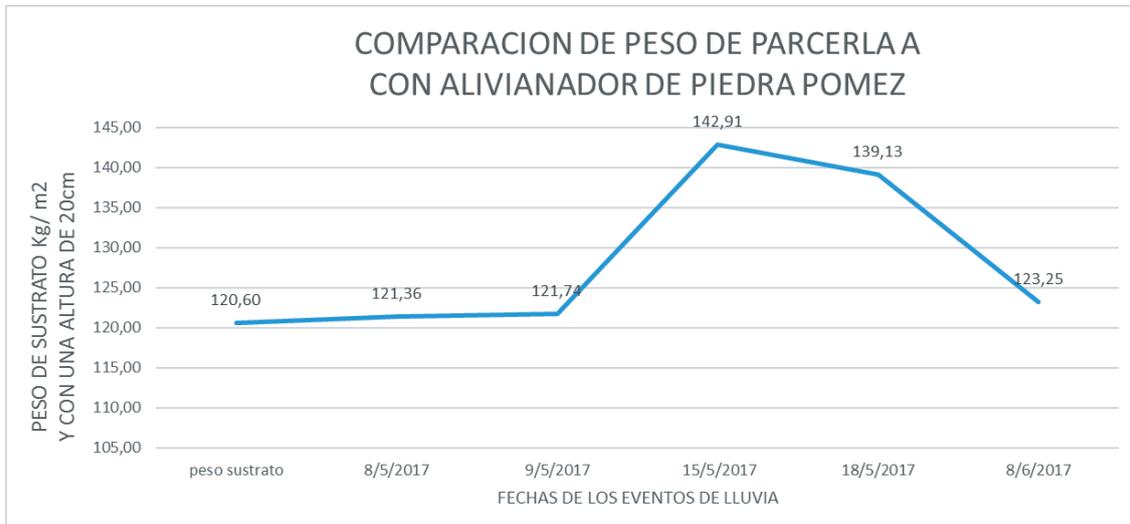


Tabla 15. COMPARACION DE PESOS ENTRE SUSTRATO SECO Y SATURADO DE LA PARCELA "A" EN CADA EVENTO DE LLUVIA RELACIONADO EN Kg/m²

Por lo que podemos decir que el peso del sustrato en estado seco es de 120,60Kg/m² y en estado saturado alcanza hasta un valor de 142,91 Kg/m², para una altura de sustrato igual a 20cm y alcanzando el 18,50% más del peso del sustrato

Es decir que para el diseño estructural de cubierta deberá ser calculado con el valor del peso del sustrato en estado saturado igual a 142.91Kg/m²; como carga muerta y para cubierta ajardina-

da como carga viva el valor de la NEC15 (NEC-SE-CG) igual a 300kg/m².

De igual manera cabe mencionar que el valor que la norma utiliza para el cálculo de sustratos en estado saturado es igual a 200kg/m² frente a 142,91kg/m² producto de este estudio; significando que el valor es más bajo de la norma por cuanto se utilizó material alivianador (piedra pómez).

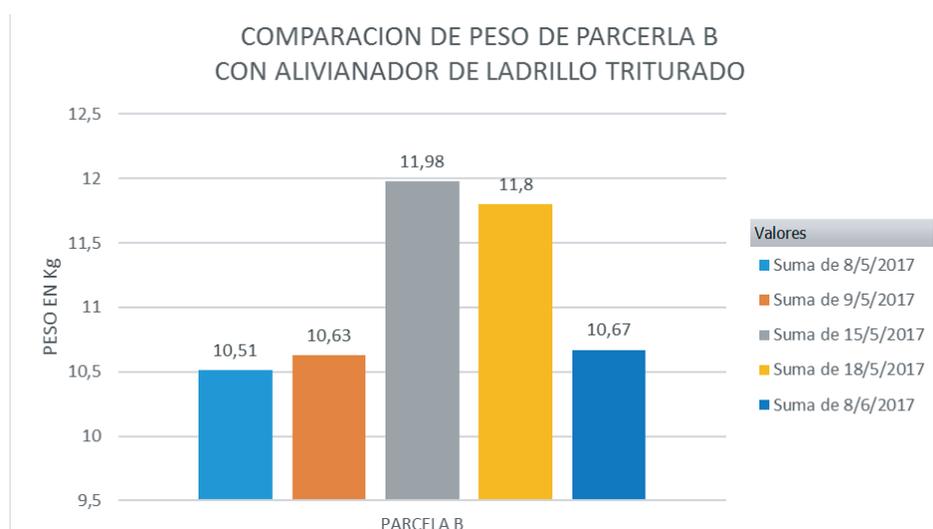


Tabla 16. COMPARACION DE PESOS ENTRE SUSTRATO SECO Y SATURADO DE LA PARCELA "B" EN CADA EVENTO DE LLUVIA.

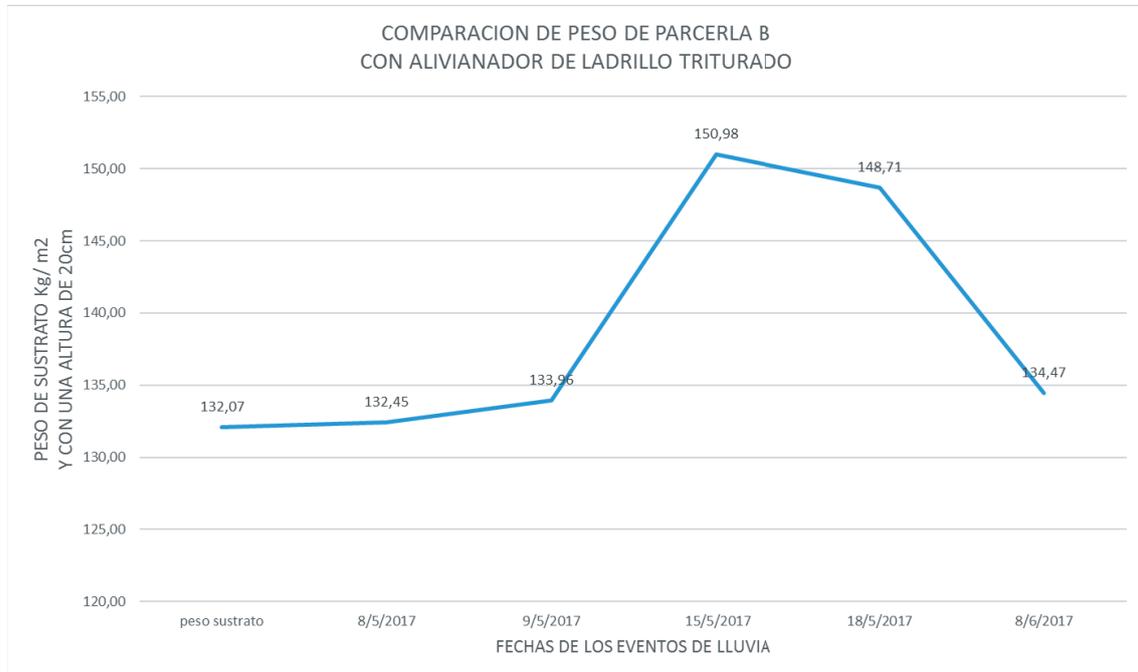


Tabla 17. COMPARACION DE PESOS ENTRE SUSTRATO SECO Y SATURADO DE LA PARCELA "B" EN CADA EVENTO DE LLUVIA RELACIONADO EN Kg/m2

Por lo que podemos decir que el peso del sustrato en estado seco es de 132,07 Kg/m² y en estado saturado alcanza hasta un valor de 150,98 Kg/m², para una altura de sustrato igual a 20cm, obteniendo un incremento del 14,30% en su peso final.

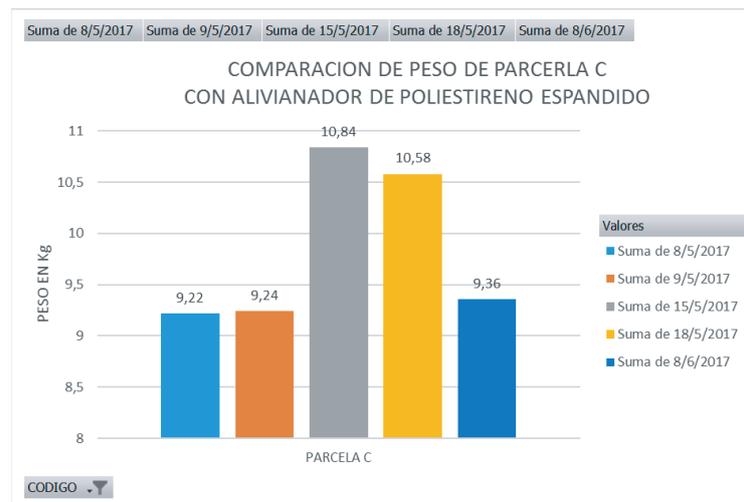


Tabla 18. COMPARACION DE PESOS ENTRE SUSTRATO SECO Y SATURADO DE LA PARCELA "C" EN CADA EVENTO DE LLUVIA.

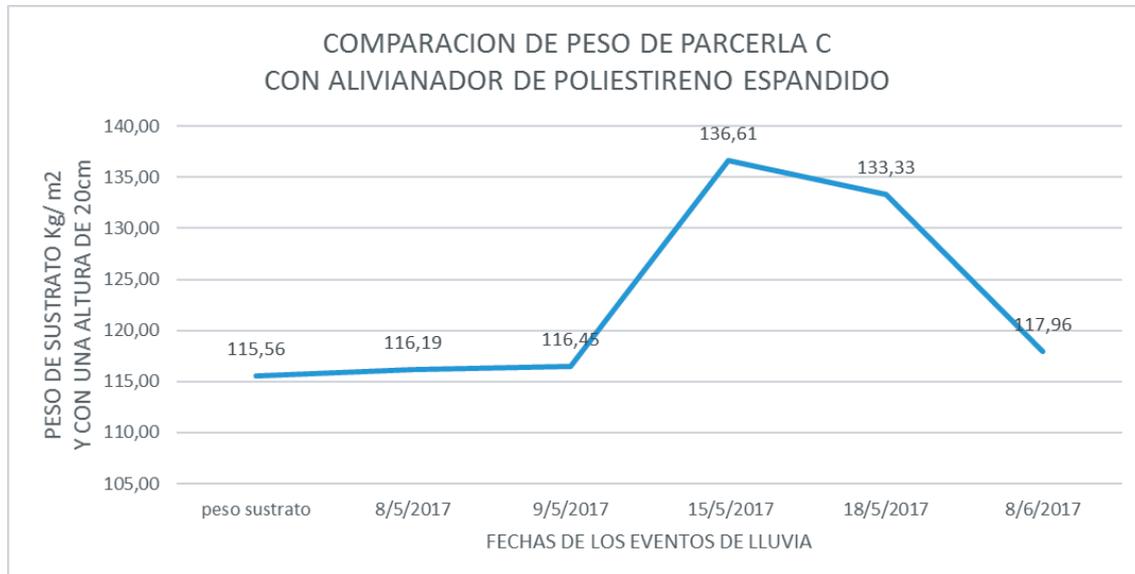


Tabla 19. COMPARACION DE PESOS ENTRE SUSTRATO SECO Y SATURADO DE LA PARCELA "C" EN CADA EVENTO DE LLUVIA RELACIONADO EN Kg/m²

Luego del análisis se demuestra que el peso del sustrato en estado seco es de 115,56 Kg/m² y en estado saturado alcanza hasta un valor de 136,61 Kg/m², para una altura de sustrato igual a 20cm, obteniendo un incremento del 18,21% en su peso final.

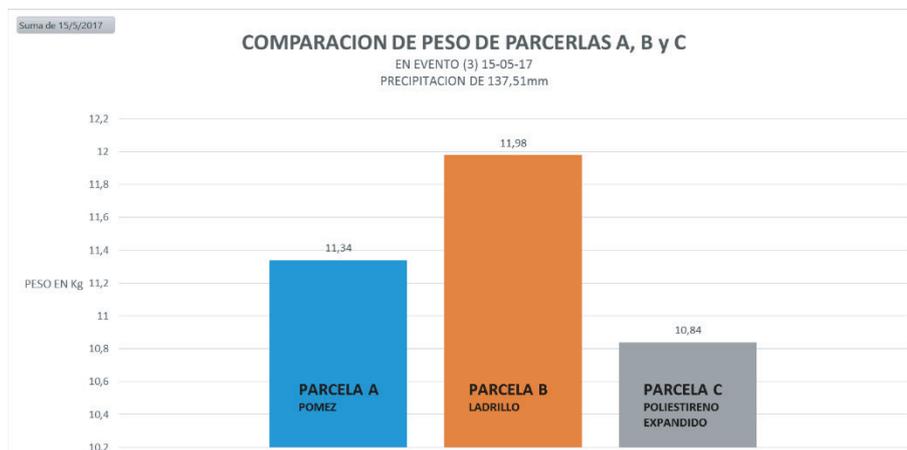


Tabla 20. COMPARACION DE PESO DE LAS DIFERENTES PACELAS CON SUS SUSTRATOS SATURADOS. PARCELA "C" CON 10.84KG DE PESO

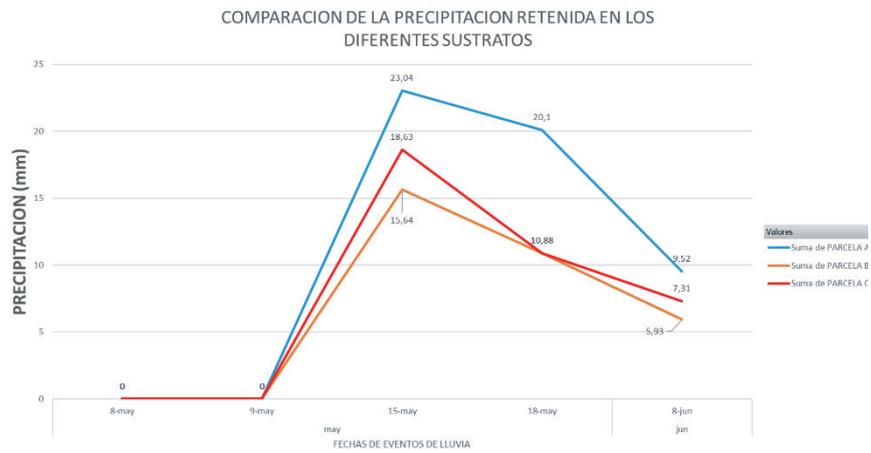


Tabla 21. CUADRO COMPARATIVO DE LA PRECIPITACION RETENIDA EN SUSTRATO. PARCELA "A" RETIENE 23.04mm

5.3.1 RENDIMIENTO DE LA RETENCIÓN DE AGUAS LLUVIAS

Una vez obtenido los resultados anteriores podemos determinar el rendimiento de la retención de aguas lluvias la misma que es calculada con la ecuación N°1, el Indicador de Rendimiento de Retención Absoluto RPI. ($RPI = V_p - V_e$) (Ver tabla 25 y 26).

FECHA	PARCELA A (PIEDRA POMEZ)		PARCELA B (LADRILLO TRITURADO)		PARCELA C (POLIESTIRNEO EXPANDIDO)	
	RPI %	ESCORRENTIA (mm)	RPI %	ESCORRENTIA (mm)	RPI %	ESCORRENTIA (mm)
8/5/2017	100,00%	64,33	100,00%	64,33	100,00%	64,33
9/5/2017	100,00%	66,94	100,00%	66,94	100,00%	66,94
15/5/2017	17,74%	137,51	9,60%	137,51	9,60%	137,51
18/5/2017	16,76%	113,32	11,37%	113,32	13,55%	113,32
8/6/2017	30,65%	55,93	25,31%	55,93	27,35%	55,93

Tabla 22. TABLA DEL INDICADOR DE RENDIMIENTO ABSOLUTO

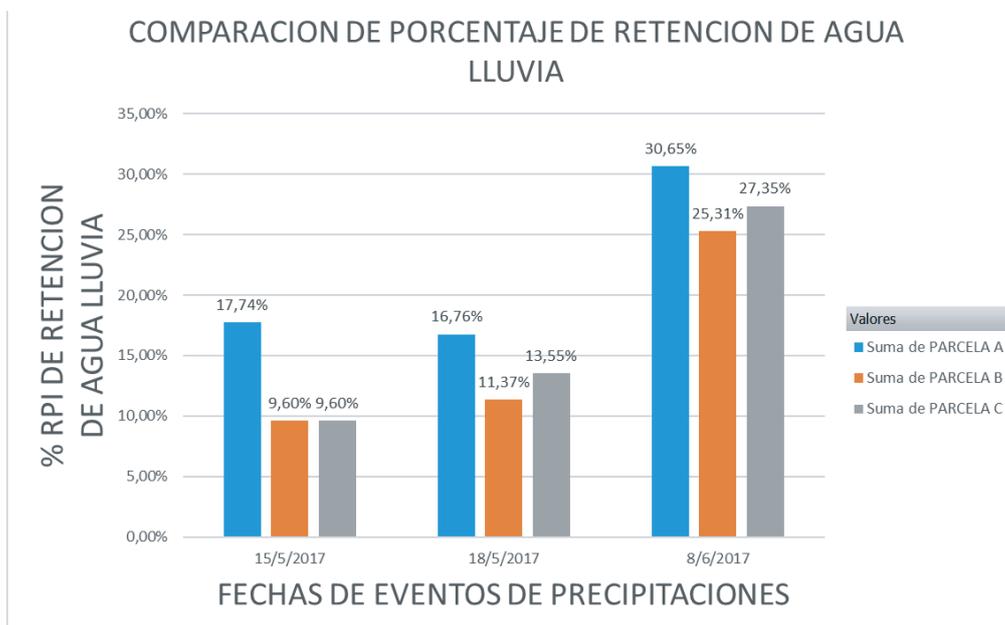


Tabla 23. COMPARACION DEL PORCENTAJE DE RETENCION DE AGUA LLUVIA DE CADA PARCELA DE ENSAYO; MEDIDO EN PORCENTAJE

Por lo que se establece que la parcela tipo A cuyo sustrato con alivianador de piedra pómez; en un evento de lluvia con una precipitación de 137.51mm y con una intensidad de 10.58mm/h; retiene una mayor escorrentía con un valor de 23,04mm (INDICADOR DE RENDIMIENTO) y siendo este el 17.74% (RPI%), llegando a un peso en estado saturado igual a 142,91Kg/m². (ver tabla 27)

FECHA	PARCELA A (PIEDRA POMEZ)		PARCELA B (LADRILLO TRITURADO)		PARCELA C (POLIESTIRNEO EXPANDIDO)	
	RPI %	ESCORRENTIA (mm)	RPI %	ESCORRENTIA (mm)	RPI %	ESCORRENTIA (mm)
8/5/2017	100,00%	4,33	100,00%	4,33	100,00%	4,33
9/5/2017	100,00%	66,94	100,00%	66,94	100,00%	66,94
15/5/2017	17,74%	137,51	9,60%	137,51	9,60%	137,51
18/5/2017	16,76%	113,32	11,37%	113,32	13,55%	113,32
8/6/2017	30,65%	5,93	5,31%	55,93	27,35%	5,93

Tabla 24. CUADRO DE ESCORRENTIAS E INDICE %RPI POR CADA PARCELA DE ENSAYO



5.3.2 DISCUSIÓN:

En base al análisis efectuado se pudo determinar algunas comparaciones mismas que se expresan en el siguiente cuadro: (Martínez 2016). (Ver tabla 28)

REFERENCIA	AÑO	LOCALIZACIÓN	DISMINUCIÓN DE ESCORRENTIA (%)	DISMINUCIÓN DE CAUDAL PICO (%)	TIEMPO DE RETENCIÓN (min)	TIPO DE VEGETACIÓN
TIPO DE CLIMA: TEMPLADO						
Ju Young Lee,	2015	Corea Japón	13,8 - 34,4	18 - 29	-	Sedum
			42,8 - 60,8	sep-20		
Nawaz, McDonald, & Postokoyo	2015	Leeds, Reino Unido	promedio de 66	-	95	sedum
Harper, Limmer, Showalte, & Burekn	2014	Missouri, EUA	40	-	-	sin vegetacion
			60	-	-	18 especies de zedum
Getter, Rowe, & Andresen	2007	Michigan, EUA	Promedio: 85,6	-	-	Xero Flor XF301 (mezcla de 11 especies de Sedum)
Hakimdavar, Culligan, Finazzi, Barontini, & Ranzi	2014	New York, EUA	85	89	-	mezcla de 13 especies de Sedum
			48	62	-	
			32	51	-	
Gregorie & Clausen	2011	Conneticut, EUA	51,4	-	-	mezcla de Sedum, Foresterianum, Kamschiticum, Floriferum.
TIPO DE CLIMA: SUB TROPICAL HUMEDO Y SUB-TROPICAL						
Gwendolyn & Wong	2014	Hong Kong, China	38.9	40,6	48	Arachis pintoi
			43,2	53	72	
Fassman-Beck, Voydel, Simcock, & Hong	2013	Auckland, Nueva Zelanda	83 - 92	62-89	-	20 especies nativas y 18 no nativas de Sedum
			56			
Voyde, Fassman, & Simcock	2010	Auckland, Nueva Zelanda	82	93	-	5 especies de Sedum
Jim	2012	Texas, EUA	78	-	-	sedum
Hathway, Hunt, & Jennings	2008	Carolina de Norte, EUA	64	77 - 78	30	5 especies de Sedum
Uhl	2008	Edimburgo, Esocia	16 - 31	75	-	Apta para techos extensivos
Carroll	2010	Glasgow, Reino Unido	70 - 80	-	9	Xero Flor XF301 (mezcla de 11 especies de Sedum)
Moran, Hunt, & Jennings	2003	Carolina de Norte, EUA	60	85	-	5 especies de Sedum
TIPO DE CLIMA: TROPICAL						
Van Spengen	2010	Singapur, Singapur	90	93	-	Sedum Mexicanum
			75	79	-	
			45	63	-	
			58	57	-	

Tabla 25. tabla comparativa de resultados.(Martínez 2016).



En el siguiente cuadro se puede determinar el análisis comparativo en términos de retención hídrica en condiciones similares valoradas en términos de precipitación.

Se debe considerar que el alto de los sustratos fue diferente en los 4 casos, sin embargo, ningún de ellos presento como resultado el peso de las parcelas al final de la experimentación, debido a los métodos de instalación, cantidad de probetas utilizadas, dimensiones de las mismas, alturas de sustratos, precipitaciones de los eventos de lluvia, condiciones climatológicas., etc.

Por lo que se puede demostrar entre la experimentación de Cortes Forero y este ensayo; con base a una precipitación entre 6,35mm y 6,99mm la retención hídrica fue del 76% más que de Cortes. (Ver cuadro 26).

COMPARACION EN TERMINOS DE RETENCION %				
precipitación (mm)	"EFICIENCIA DE LA RETENCIÓN HÍDRICA"	"ATENUACIÓN HÍDRICA..."	"EVALUACIÓN DEL (...) CAPTACIÓN DE ESCORRENTÍA PRODUCIDA..."	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN...
	Héctor Rosatto	Cortes Forero y Oviedo Escobar	Daniel González	Patricio Clavijo
0,0073			100	
0,2			81,81	
0,24				
0,5			61,53	
0,8			42,85	
1,43				100
1,84		100		
2,3			25,8	
3,19				100
3,29		100		
precipitación (mm)	"EFICIENCIA DE LA RETENCIÓN HÍDRICA"	"ATENUACIÓN HÍDRICA..."	"EVALUACIÓN DEL (...) CAPTACIÓN DE ESCORRENTÍA PRODUCIDA..."	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN...
	Héctor Rosatto	Cortes Forero y Oviedo Escobar	Daniel González	Patricio Clavijo
6,31		50		
6,35		10		
6,99				17,74
7,08				16,76
7,29		30		
10,58				30,65
15,27		20		
16,3	100	9		
23,96			8,8	
20	85,5			
34,8	61,2			
20	87,8			
21,5	100			
98	35,2			

Tabla 26. CUADRO COMPARATIVO ENTRE PROYECTOS ANALIZADOS (FUENTE PROPIA)



Sin embargo, se manifiesta que de acuerdo a los resultados obtenidos se determina un mejor rendimiento frente a escorrentías de mayor nivel en comparación con los valores indicados en el proyecto “EVALUACIÓN DEL EFECTO TÉRMICO Y CAPTACIÓN DE ESCORRENTÍA PRODUCIDA POR UNA PLANTA PILOTO DE TECHO VERDE “de González Daniel

CUADRO DE COMPARACION DE VALORES DE RPI % ENTRE EL PROYECTO DE GONZALEZ DEPOMBO Y FUENTE PROPIA				
COMPARACION DE EVENTOS	PARCELA A (PIEDRA POMEZ)		proyecto GONZALEZ, DEPOMBO	
	RPI %	ESCORRENTIA (mm)	RPI %	ESCORRENTIA (mm)
1	100,00%	64,33	100,00%	2,30
2	100,00% 6	6,94	100,00% 0	,20
3	17,74%	137,51	9,60%	23,96
4	16,76%	113,32	11,37%	0,80
5	30,65%	55,93	25,31%	0,50

Tabla 27. cuadro comparativo del proyecto de González Daniel con Fuente Propia





6 CAPÍTULO SEIS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 CONCLUSIONES:

Luego del desarrollo del proyecto se determinó algunas conclusiones de las cuales se describen a continuación:

- Se determinó que la parcela A, con material alivianador de PIEDRA POMEZ, alcanzo un porcentaje de retención de RPI de 17,74%.
- El porcentaje de retención del sustrato para evento menores a 7mm es del 100%
- El tiempo de retardo para eventos con intensidades mayores a 7mm es superior a 60 minutos.
- El peso del sustrato en estado saturado se incrementó en un 18.50%, valor que será terminado como carga muerta para el cálculo estructural
- El peso obtenido por la experimentación se encuentra por debajo de lo indicado en la NEC15 demostrando que influyo el uso del alivianador, quedando a discreción del calculista utilizar dichos valores.
- El peso del sustrato en estado saturado será el valor de carga muerta con el cual se calculará la estructura de una cubierta. Sin embargo, este valor se encuentra por debajo de la indicado en la NEC 15 (200Kg/m²), por lo que podemos decir que esto se debe al uso de piedra pómez como material alivianador.
- Ahora si bien la parcela C, con poliestireno expandido obtuvo un peso máximo de 136,61Kg/

m², menor al peso de la parcela A, pero su porcentaje de retención fue 9,60%

- Comparada con el proyecto de GONZALEZ, DEPOMBO podemos determinar que en un evento de lluvia cuya escorrentía fue 137.51mm el porcentaje de retención fue 17.74% frente 23,96 mm y un porcentaje del 9,60% según tabla N°26 y 27. Lo que quiere decir que la parcela A estuvo expuesta a un evento de lluvia de mayor duración y su capacidad de retención fue superior. (ver tabla 27)

6.2 RECOMENDACIONES:

Las recomendaciones expresadas en base a sistemas constructivos para aplicarse a cubiertas tanto planas como inclinadas (Zinco 2010), sistemas que permitirán la eficiencia y rendimiento de la cubierta verde; para lo cual deberá tomar en cuenta condiciones de:

- Impermeabilización de la cubierta, encuentro de muros, culatas o antepechos con cama de grava perimetral.
- Sistemas de drenaje con caja de control con el mismo que ayudara a mantener el control de escorrentía.
- Manta anti – raíz previendo perforaciones sobre estructura de cubierta.

Estructura de soporte para cubiertas inclinadas evitando empuje del sustrato en condiciones de saturación.

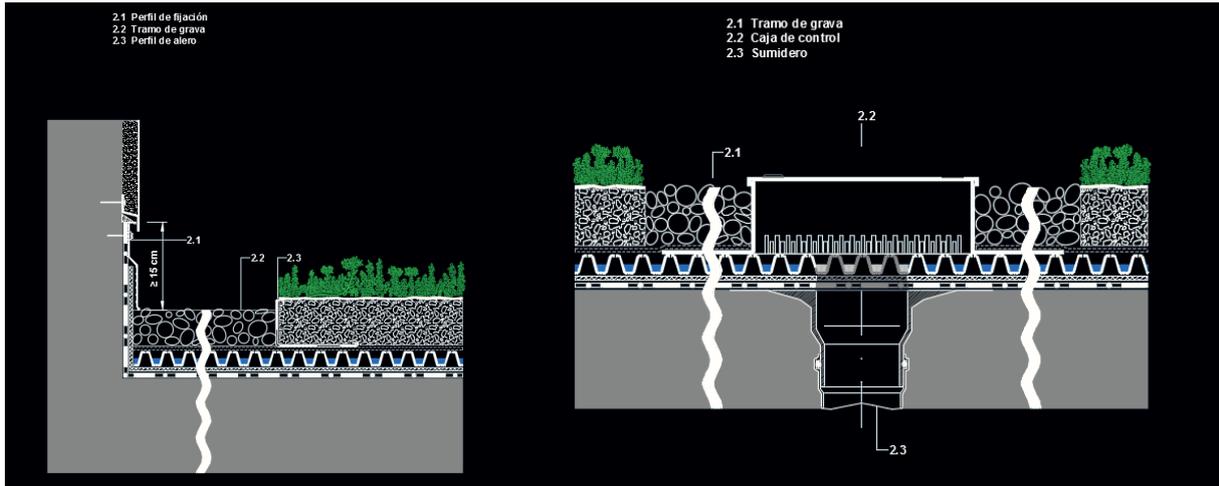


Ilustración 43. encuentro muro con grava para cubierta plana

Ilustración 44. sistema de drenaje de sumidero con caja de control para cubierta plana

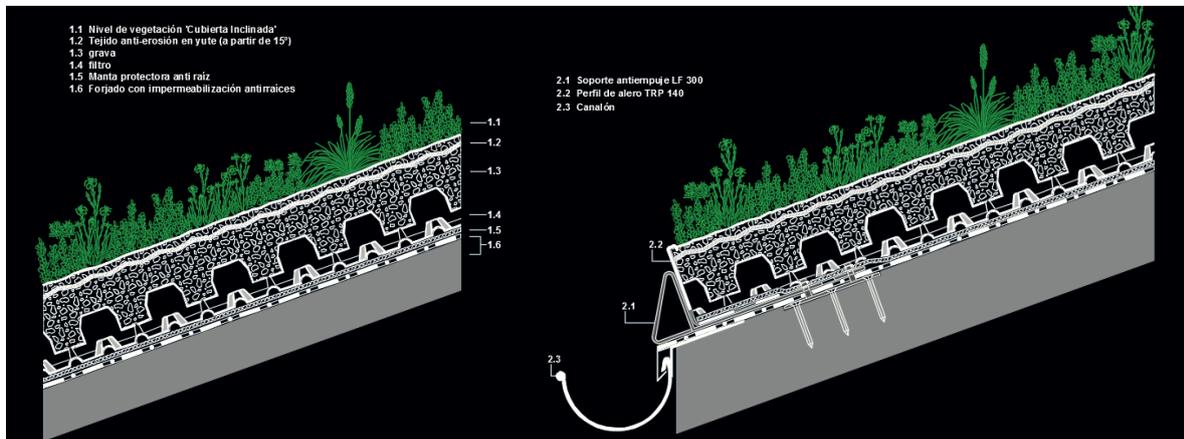


Ilustración 45. detalle de cubierta inclinada con manta protectora anti raíz

Ilustración 46. detalle de estructura de tope anti derrame y canalón recolector.



- En base a estudios realizados o experimentaciones en proceso, se debe plantear un catálogo de la vegetación de la zona, la misma que sea factible de utilizar para la colocación en cubiertas verdes.
- Es necesario experimentar los efectos térmicos que produzca el uso de las cubiertas verdes aplicadas para la región, debido a las condiciones climáticas.
- Se debe plantear el uso de vatímetros tanto al inicio como al final de los recorridos de los ríos que cruzan la ciudad a fin de poder calcular el nivel de erosión que atraviesa la ciudad.

OCUPA
TU LO
QUE



7 BIBLIOGRAFÍA:

AGN, 2014. LA NUEVA TENDENCIA DE LAS CUBIERTAS VERDES. Diario El Mercurio [en línea]. CUENCA ECUADOR, 10 octubre 2014. Disponible en: http://www.elmercurio.com.ec/424745-la-nueva-tendencia-de-las-cubiertas-verdes/#.VDf9V_mSy-0.

ALVAREZ, C. arq., 2017. Oficio Nro. DCM-1756-2017. . CUENCA ECUADOR:
ANAPE, 2017. PROPIEDADES DEL EPS. [en línea]. [Consulta: 16 julio 2017]. Disponible en: <http://www.anape.es/pdf/ficha73.pdf>.

ARCILA ROJAS, D., 2014. Techos verdes. S.l.: s.n. ISBN 9974493234.

ASTM, 2015. Standard Test Method for Maximum Media Density for Dead Load Analysis of Vegetative (Green) Roof Systems. [en línea]. [Consulta: 8 junio 2017]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/E2399.htm>.

ASTM, 2017. standardization news. [en línea], Disponible en: https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPMJ13/enright_spmj13.html.

CARDENAS, D.M., 2017. Respuesta por parte de subgerencia de operaciones de agua y saneamiento. . CUENCA ECUADOR:

CARLOS, S., PAULO, D.S., MESTRE, D., AMBIENTAL, E., PROF, O., FRANCISCO, A. y CARLOS, S., 2011. Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de. ,

CARRERA, P.J.S., 2015. FABRICACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS UTILIZANDO COMO ADITIVOS ROTURA Y LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA EMPRESA EDESA S.A. TRABAJO. S.l.: s.n.

CARROLL, N., 2010. TIPOS DE SUSTRATOS DE CULTIVO. [en línea]. Disponible en: http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos.htm.

CEN, 2017. european committee for standardization. 2017 [en línea]. Disponible en: https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:29:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:481830,25&cs=117375B165644AAC954DDC63B921F43EF#1.

CHANAMPA, M. y OJEMBARRENA, J.A., 2009. Sistemas vegetales que mejoran la calidad de las ciudades. , pp. 49–67.

CUENCA MUNICIPIO, 2017. ESTADISTICA DE CONSTRUCCIONES APROBADAS POR LA DIRECCION DE CONTROL MUNICIPAL DEL CANTON CUENCA AREA URBANA DESDE EL 2013 AL 2016. . CUENCA:

CUENCAGAD, C., 2010. Ordenanza que Sanciona el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca. 2010. ecuador: s.n.



DIEGO, I.E.P. de y HERGUETA, S.P., 2007. Libro verde. ,

DM QUITO, Q., 2011. ART. 96 DE LA ORDENANZA 0172 DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. 2011. Ecuador: s.n. ART. 96.

DUNKER D, A., BRUNET B, M., MUÑOZ C, M., MADRID C, H., PASCUAL, J.M., MORENO, E., RODRIGUEZ J, G., CAMPOS R, J.P. y HOLMBERG, A., 2007. ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO - ENVOLVENTE TÉRMICA DE EDIFICIOS - CÁLCULO DE RESISTENCIAS Y TRANSMITANCIAS TÉRMICAS. 2007. CHILE: s.n. NCh853-2007.

ETAPA-EP, 2011. PLANES MAESTRO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE CUENCA FASE II. . CUENCA ECUADOR:

FAO, 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos [en línea], vol. 103, pp. 117. ISSN 1020430X. Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Base+referencial+mundial+del+recurso+suelo#0>.

FERNANDO, F. y ORTEGA, C., 2011. Escuela Politécnica Nacional Facultad De Ingeniería Civil Y Ambiental Agregado Alternativo Para Fabricación De Bloques Y Adoquines En Base a Polítilen Tereftalato Proyecto Previo a La Obtención Del Título De Ingeniero Civil Rubén Andrés Moreno Cárdenas.,

FLL, 2015. NORMATIVA SOBRE CUBIERTAS VERDES. [en línea], Disponible en: <https://translate.google.com/ec/translate?hl=es-419&sl=de&u=http://www.fill.de/&prev=search>.

FLORES PRIETO, J.R., 2010. CONCRETO PERMEABLE USANDO. , pp. 1–76.

FRANCÉS, F. y BUSSI, G., 2014. Análisis del impacto del cambio climático en el ciclo de sedimentos de la cuenca del río Ésera (España) mediante un modelo hidrológico distribuido. Revista Iberoamericana del Agua [en línea], vol. 1, no. 1, pp. 14–25. ISSN 23863781. DOI 10.1016/S2386-3781(15)30004-9. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S2386-3781\(15\)30004-9](http://dx.doi.org/10.1016/S2386-3781(15)30004-9).

GAD-MUNICIPAL-CUENCA, 2011. Lineamientos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. [en línea], pp. 127. Disponible en: www.zamora-chinchipec.gov.ec.

GONZÁLEZ, M. y SEGAT, A., 2010. Reacción del suelo. Principios de edafología, ... [en línea], Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=BIBUNFA.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=018862>.

GRUNDFOS, 2011. Manual de riego Índice. [en línea], pp. 38. Disponible en: www.grundfos.es.

JODIDO, P., 2012. GREEN ARCHITECTURE NOW. S.I.: s.n. ISBN 978-3-8365-0373-0.

LEONOR, V.E. y MACIEL, N., 2016. COMUNIDADES URBANAS ENERGETICAMENTE EFICIENTES. S.I.: EDUFES. ISBN 9788577723485.

LOVATO, E., 2017. Composición de sustrato para implantación de vegetación sobre cubierta verde. , pp. 1.

MARTÍNEZ, G., 2016. Universidad de cartagena facultad de ciencias económicas. ,



MOMPARLER, S. y DOMÉNECH, A., 2008. Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia". Revista Técnica de Medio Ambiente. C&M Publicaciones, vol. 124, pp. 92–104.

MORA, I.G.S., 2012. Manual para el diseño e instalación de una azotea verde. [en línea], pp. 105. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2456/TESES.pdf?sequence=1>.

NEUQUEN ARGENTINA, M., 2011. ART. 4.6.2 TECHOS VERDES SUPERFICIES CUBIERTAS DE VEGETACION. 2011. NEUQUEN ARGENTINA: s.n. BLOQUE N.C.C PROYECTO DE ORDENANZA. ORTIZ ULLOA, P., 2015. FORMULARIO INEC INDICE VERDE URBANO. . CUENCA:

OVIEDO ESCOBAR, N. y TORRES, A., 2014. Hydric Attenuation and Hydrological Benefits for Implementing Productive Green Roof in Soacha, Colombia. Ingenieria y Universidad [en línea], vol. 18, no. 2, pp. 291. [Consulta: 25 octubre 2016]. ISSN 2011-2769. DOI 10.11144/Javeriana.IYU18-2.hahb. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-21262014000200005&lng=en&nrm=iso&tIng=en.

ROSATTO, H., VILLALBA, G., ROCCA, C., MEYER, M., BARGIELA, M., HASHIMOTO, P., LAUREDA, D., PRUZZO, L., KOHAN, D., CAZORLA, L., RODRÍGUEZ PLAZA, L., QUANTENNE, E., BARRERA, D., MAZZEO, N., GAMBOA, P. y CASO, C., 2010. Eficiencia en la retención del agua de lluvia de cubiertas vegetadas de tipo "extensivo" e"intensivo". Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo [en línea], vol. 45, no. 1. [Consulta: 24 octubre 2016]. ISSN 1853-8665. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652013000100015&lng=es&nrm=iso&tIng=es.

ROSATTO, H.G., LAUREDA, D., PÉREZ, D., BARRERA, D., MEYER, M., GAMBOA, P., VILLALBA, G., FRIEDRICH, M., BARGIELA, M., PLAZA, L.R., CALVO, G., MIRANDA, M., IÑIGO, M. y QUANTENNE, E., 2010. Eficiencia De La Retención Hídrica De Las Cubiertas Vegetadas. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, vol. 42, no. 1, pp. 213–219. ISSN 03704661.

SIMS, A.W., ROBINSON, C.E., SMART, C.C., VOOGT, J.A., HAY, G.J., LUNDHOLM, J.T., POWERS, B. y O'CARROLL, D.M., 2016. Retention performance of green roofs in three different climate regions. Journal of Hydrology [en línea], vol. 542, pp. 115–124. [Consulta: 24 junio 2017]. ISSN 00221694. DOI 10.1016/j.jhydrol.2016.08.055. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169416305455>.

SINGLE, mc froyd, 2008. TEXTURA DE LOS SUELOS. [en línea]. [Consulta: 22 julio 2017]. Disponible en: ftp://ftp.fao.org/fi/cdrom/fao_training/fao_training/general/x6706s/x6706s06.htm. TECNICOAGRICOLA.ES, 2013. pH DE UN SUELO. 2013 [en línea]. [Consulta: 22 julio 2017]. Disponible en: <http://www.tecnicoagricola.es/ph-de-un-suelo/>.

TÉRMICAS, H., 2017. Hieleras y Cajas Térmicas de Poliestireno Expandido (EPS). , TEXTOS CIENTIFICOS, 2017. POLIESTIRENO EXPANDIDO. 2017 [en línea]. [Consulta: 16 julio 2017]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno-expandido>.

TRAMA, L., 2013. Construcción Sostenible: El aporte de la normalización Situación en Argentina. Asamblea General COPANT [en línea]. Disponible en: http://www.copant.org/phocadownload/construccion_sostenible/Argentina_Trama_IRAM.pdf.



VEGETALES, S.O.T., 2008. Tierra vegetal y fertilizantes 1. 1.1 definicion. , pp. 1–7.

VELA, C., 2010. CUBIERTAS ECOLOGICAS. [en línea], Disponible en: <http://www.clave.com.ec/index.php?idSeccion=323>.

VERDE, G. y NE, 2015. Verde ne guia de evaluacion. , pp. 320.

ZINCO, 2009. Sistemas ZinCo para cubiertas verdes Índice. [en línea], pp. 38. Disponible en: www.zinco-cubiertas-ecologicas.es.





8 ÍNDICE DE ILUSTRACIONES



- 35 ILUSTRACIÓN 1. JARDINES DE BABILONIA (CARLOS ET AL. 2011)
- 41 ILUSTRACIÓN 2. TÉCNICA CONSTRUCTIVA QUE ALGUNOS PAÍSES SIGUEN UTILIZANDO, SOLO HAN PERFECCIONADO SUS SISTEMAS. (CARLOS ET AL. 2011)
- 41 ILUSTRACIÓN 3. CUBIERTA DEL GIMNASIO CLARA GRUNEWALD EN FRIBURGO ALEMANIA FUENTE REVISTA ZINCO (ZINCO, 2009)
- 42 ILUSTRACIÓN 4. MINISTERIO DE EDUCACIÓN FACHADA (ARCHIVO GUSTAVO CAPENEMA CODOCFGV (VITRUVIUS.COM.BR 2006))
- 42 ILUSTRACIÓN 5. MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CULTURA DE RIO DE JANEIRO, AZOTEA CUBIERTA VERDE (ARCHIVO ARQCINTIARAMIREZ.BLOGSPOT.COM/)
- 43 ILUSTRACIÓN 6. EDIFICIO DE DEPARTAMENTOS TERRAZAS DE CUENCA, AZOTEA CUBIERTA VERDE (ARCHIVO DIARIO EL MERCURIO)
- 43 ILUSTRACIÓN 7. EDIFICIO DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE QUITO-ECUADOR, AZOTEA CUBIERTA VERDE (ARCHIVO REVISTA CLAVE)
- 44 ILUSTRACIÓN 8. INSTALACIÓN DE MEMBRANA IMPERMEABLE A BASE DE PVC, EN PRUEBA DE ESTANQUEIDAD. (GRUNDFOS 2011)
- 48 ILUSTRACIÓN 9. COMPOSICIÓN VOLUMÉTRICA DE UNA SUPERFICIE. (BRADY 1989). ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO
- 49 ILUSTRACIÓN 10. FOTO DE PASPALIM NOTATUM (B) CARACTERÍSTICA RADICULAR FASCICULADA (CARLOS ET AL. 2011)
- 49 ILUSTRACIÓN 11. DIFERENCIA ENTRE RAÍZ PIVOTANTE Y FASCICULADA. (CARLOS 2011)
- 50 ILUSTRACIÓN 12. SISTEMA DE RIEGO POR MANGUERA (GROFUNDOS 2011)
- 50 ILUSTRACIÓN 13. SISTEMA RIEGO POR MICRO ASPERSIÓN. (GRUNDFOS 2011)
- 52 ILUSTRACIÓN 14. PARCELAS DE ENSAYO PARA SIMULAR CUBIERTAS VERDES CON SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA PARA CADA PARCELA. (ROSATTO, HÉCTOR ET AL. 2010)
- 53 ILUSTRACIÓN 15. CUBIERTA VERDE CONSTRUIDO CON BOTELLAS PLÁSTICAS INTERCONECTADAS ENTRE SÍ, CON RECUBRIMIENTO DE DOS TIPOS DE VEGETACIÓN. FORERO-CORTES (2012)
- 53 ILUSTRACIÓN 16. TRES MODELOS DE CUBIERTA VERDE. (GONZALEZ 2016)
- 54 ILUSTRACIÓN 17. SENSORES PARA CONTROLAR PESOS, TEMPERATURA Y VIDEO (GONZALEZ 2016)
- 55 ILUSTRACIÓN 18. COMPARACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE TECHO VERDE. (CARROLL 2010)
- 55 ILUSTRACIÓN 19. ESQUEMA GENERAL DE LOS COMPONENTES DE UN TECHO VERDE. (ARQUITECTURAYEMPRESA2014)
- 55 ILUSTRACIÓN 20. ESQUEMA GENERAL DE LOS COMPONENTES DE UN TECHO VERDE. (ZINCO2009)
- 55 ILUSTRACIÓN 21. ELEMENTOS TÍPICOS USADOS COMO CAPA DRENANTE. (CARROLL 2010)
- 60 ILUSTRACIÓN 22. CUBIERTAS VERDES EN LA EXPO, ZARAGOZA (ZINCO 2009)
- 60 ILUSTRACIÓN 23. NEW PROVIDENCE WHARF, LONDRES. (ZINCO 2009)
- 61 ILUSTRACIÓN 24. VARIACIONES DE LAS PENDIENTES ADOPTADAS ENTRE 00 A 450 PARA CUBIERTAS VERDES EXTENSIVAS (MINKE 2003)
- 63 ILUSTRACIÓN 25. TIPOS DE CLIMA (FUENTE PDYOT GAD MUNICIPAL DE CUENCA, 2010)
- 64 ILUSTRACIÓN 26. SUELO AGRÍCOLA, ABONO ORGÁNICO, HOJAS DE ÁRBOLES EN ESTADO DE DESCOMPOSICIÓN, CAL, (FUENTE ELABORACIÓN PROPIA)
- 65 ILUSTRACIÓN 27. LADRILLO COMÚN TRITURADO (FUENTE PROPIA)
- 65 ILUSTRACIÓN 28. POLIESTIRENO TRITURADO (FUENTE PROPIA)
- 66 ILUSTRACIÓN 29. PIEDRA PÓMEZ TRITURADA (FUENTE PROPIA)
- 67 ILUSTRACIÓN 30. DETALLE TÉCNICO DE LA PARCELA DE ENSAYO (FUENTE PROPIA)
- 67 ILUSTRACIÓN 31. PARCELAS DE ENSAYO COLOCADAS HACIA ABAJO DEBIDO A LOS CONECTORES DE DESAGÜE (FUENTE PROPIA)
- 67 ILUSTRACIÓN 32. CON LA AYUDA DE UNA CARRETILLA SE ELABORÓ UN MATERIAL UNIFORME (FUENTE PROPIA)
- 67 ILUSTRACIÓN 33. PROCESO DE MEZCLA DE CADA COMPONENTE (FUENTE PROPIA)
- 68 ILUSTRACIÓN 34. COLOCACIÓN DE ALIVIANADORES EN MITAD DEL SUSTRATO (FUENTE PROPIA)
- 68 ILUSTRACIÓN 35. COLOCACIÓN DE SUSTRATO CON ALIVIANADOR SOBRE CAMA DE GRAVA (FUENTE PROPIA)
- 68 ILUSTRACIÓN 36. COLOCACIÓN DE LA ESPECIE VEGETAL KIKUYO (FUENTE PROPIA)
- 68 ILUSTRACIÓN 37. PARCELAS DE ENSAYO CON SUSTRATOS DIFERENTES Y KIKUYO COMO ESPECIE VEGETAL (FUENTE PROPIA)
- 69 ILUSTRACIÓN 38. TOMA DE PESO DE CADA PARCELA DE ENSAYO CON LA AYUDA DE UN SOPORTE DEBIDO AL SISTEMA DE DESAGÜE DE LA PARCELA (FUENTE PROPIA) (NOTA: LAS MEDIDAS FUERON CONVERTIDAS A KILOGRAMOS)
- 69 ILUSTRACIÓN 39. SISTEMA DE DESAGÜE PARA EVACUACIÓN DE AGUAS LLUVIAS (FUENTE PROPIA)
- 70 ILUSTRACIÓN 40. MANGUERAS DE PVC DE 1" CONECTADAS A BIDONES RECOLECTORES DE 3.78LTS CADA UNO. (FUENTE PROPIA)
- 70 ILUSTRACIÓN 41. USO DE PROBETA DE 250MLTS Y BIDÓN. /FUENTE PROPIA)
- 70 ILUSTRACIÓN 42. DISTRIBUCIÓN DE LAS CUATRO PARCELAS DE ENSAYO, TRES CONTIENEN KIKUYO COMO ELEMENTO DE REMATE, Y UNO ES TESTIGO
- 90 ILUSTRACIÓN 43. ENCUENTRO MURO CON GRAVA PARA CUBIERTA PLANA (FUENTE ZINCO 2010)
- 90 ILUSTRACIÓN 44. SISTEMA DE DRENAJE DE SUMIDERO CON CAJA DE CONTROL PARA CUBIERTA PLANA. (FUENTE ZINCO)
- 90 ILUSTRACIÓN 45. DETALLE DE CUBIERTA INCLINADA CON MANTA PROTECTORA ANTI RAÍZ (FUENTE ZINCO 2010)
- 90 ILUSTRACIÓN 46. DETALLE DE ESTRUCTURA DE TOPE ANTI DERRAME Y CANALÓN RECOLECTOR. (FUENTE ZINCO 2010)



9 ÍNDICE DE TABLAS



- 23** TABLA 1. PERMISOS DE CONSTRUCCION MAYOR EMITIDO DESDE 2014 AL 2017 (FUENTE DIRECCION DE CONTROL MUNICIPAL DE CUENCA, 2010)
- 23** TABLA 2. FLUJO DE PERMISOS DE CONSTRUCCION MAYOR (FUENTE DIRECCION DE CONTROL MUNICIPAL GAD CUENCA, 2010)
- 24** TABLA 3. COMPARACION DE PERMISOS DE CONSTRUCCION MAYOR (FUENTE DIRECCION DE CONTROL MUNICIPAL GAD CUENCA, 2010)
- 24** TABLA 4. TABLA COMPARATIVA DE OCUPACIÓN DE SUELO A NIVEL DE PLANTA BAJA (GAD MUNICIPAL DE CUENCA 2017)
- 25** TABLA 5. TABLA DE LA TENDENCIA A OCUPACIÓN DE USO DE SUELO. (GAD MUNICIPAL CUENCA 2017)
- 48** TABLA 6. CUADRO DE ALIVIANADORES UTILIZADOS EN SUSTRATOS (DUNNETT Y KINGSBURY, 2008)
- 48** TABLA 7. CUADRO DE PESO DE MATERIALES EN ESTADO DE SATURACIÓN. (OSMUNDSON 1999)
- 50** TABLA 8. MANUAL DE RIEGO GRUNDFOS (GRUNDFOS 2011)
- 68** TABLA 9. CUADRO DE LOS PESOS DE LOS DIFERENTES SUSTRATOS CON SUS RESPECTIVOS ALIVIANADORES (FUENTE PROPIA)
- 75** TABLA 10. TABLA PARA RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA DE ACUERDO A LA ESCORRENTIA
- 75** TABLA 11. TABLA PARA RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA DE ACUERDO AL PORCENTAJE DE ESCORRENTIA
- 76** TABLA 12. TABLA PARA RECOLECCION DE INFORMACION PRIMARIA DE ACUERDO AL PESO DE SUSTRATO EN ESTADO SATURADO.
- 77** TABLA 13. INVENTARIO DE PRECIPITACIONES
- 77** TABLA 14. COMPARACION DE PESOS ENTRE SUSTRATO SECO Y SATURADO DE LA PARCELA "A" EN CADA EVENTO DE LLUVIA.
- 78** TABLA 15. COMPARACION DE PESOS ENTRE SUSTRATO SECO Y SATURADO DE LA PARCELA "A" EN CADA EVENTO DE LLUVIA RELACIONADO EN KG/M2
- 78** TABLA 16. COMPARACION DE PESOS ENTRE SUSTRATO SECO Y SATURADO DE LA PARCELA "B" EN CADA EVENTO DE LLUVIA
- 79** TABLA 17. COMPARACION DE PESOS ENTRE SUSTRATO SECO Y SATURADO DE LA PARCELA "B" EN CADA EVENTO DE LLUVIA RELACIONADO EN KG/M2
- 79** TABLA 18. COMPARACION DE PESOS ENTRE SUSTRATO SECO Y SATURADO DE LA PARCELA "C" EN CADA EVENTO DE LLUVIA.
- 80** TABLA 19. COMPARACION DE PESOS ENTRE SUSTRATO SECO Y SATURADO DE LA PARCELA "C" EN CADA EVENTO DE LLUVIA RELACIONADO EN KG/M2
- 80** TABLA 20. COMPARACION DE PESO DE LAS DIFERENTES PACELAS CON SUS SUSTRATOS SATURADOS. PARCELA "C" CON 10.84KG DE PESO
- 81** TABLA 21. CUADRO COMPARATIVO DE LA PRECIPITACION RETENIDA EN SUSTRATO. PARCELA "A" RETIENE 23.04MM
- 81** TABLA 22. TABLA DEL INDICADOR DE RENDIMIENTO ABSOLUTO RPI DE LA PARCELA DE ENSAYO
- 82** TABLA 23. COMPARACION DEL PORCENTAJE DE RENTECION DE AGUA LLUVIA DE CADA PARCELA DE ENSAYO; MEDIDO EN PORCENTAJE
- 82** TABLA 24. CUADRO DE ESCORRENTIAS E INDICE %RPI POR CADA PARCELA DE ENSAYO
- 83** TABLA 25. TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS.(MARTÍNEZ 2016)
- 84** TABLA 26. CUADRO COMPARATIVO ENTRE PROYECTOS ANALIZADOS (FUENTE PROPIA)
- 85** TABLA 27. CUADRO COMPARATIVO DEL PROYECTO DE GONZÁLEZ DANIEL CON FUENTE PROPIA



10 ÍNDICE DE ECUACIONES



- 56** ECUACIÓN 1. INDICADOR DE RENDIMIENTO DE RETENCIÓN ABSOLUTO. (FUENTE GONZÁLES 2016)
- 56** ECUACIÓN 2. PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE ESCORRENTÍA. (FUENTE: GONZÁLES 2016)
- 57** ECUACIÓN 3. REDUCCIÓN DE LA DESCARGA PICO. (FUENTE GONZÁLES 2016)
- 57** ECUACIÓN 4. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LA DESCARGA PICO. (FUENTE GONZÁLES 2016)

