

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“INSTALACIÓN DE TECHOS VERDES Y  
DRENAJE PLUVIAL EN JR. CHANCHAMAYO  
CUADRA 14, CAJAMARCA EN EL AÑO 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniero Civil**

Forma: Artículo científico

**Autores:**

Rayssa del Pilar Cueva Lopez

Rony Yaser Culqui Bustamante

**Asesor:**

Mg. Lic. Ing. Violeta Zarela Quevedo Porras

<https://orcid.org/0000-0002-8549-5115>

Cajamarca - Perú

**2023**

## JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Tulio Edgar Guillén Sheen	26676774
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Hector Arturo Cuadros Rojas	43275350
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Erlyn Giordany Salazar Huamán	71106769
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD



Identificación de reporte de similitud: oid:23228:241138979

NOMBRE DEL TRABAJO

**V.S-Formato de Artículo Científico.docx**

RECuento DE PALABRAS

**13085 Words**

RECuento DE CARACTERES

**69676 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**59 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**2.8MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jun 19, 2023 10:07 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jun 19, 2023 10:11 PM GMT-5**

### ● 9% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de trabajos entregados
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material bibliográfico
- Fuentes excluidas manualmente

Resumen

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de Investigación está dedicado a:

A mis padres, Emilio Cueva y María López, quienes con amor y mucho esfuerzo diario me han permitido llegar a este momento tan importante en mi formación profesional y cumplir hoy una meta más; gracias por enseñarme lo que es la responsabilidad, el esfuerzo y el no rendirse a ante las adversidades porque hay un Dios que está conmigo siempre. A mis hermanos, por su apoyo y por ser la motivación constante para superarme y ser una mejor persona cada día.

**Cueva López, Rayssa**

En primer lugar, a Dios por darme la salud, fuerza y constancia para alcanzar mis metas. A mi madre Miriam Bustamante por inculcarme valores, apoyarme incondicionalmente en cada uno de mis proyectos y brindarme esperanza en tiempos difíciles. A mi hermano Oliver Culqui por proveerme de consejos y motivación en cada proyecto.

**Culqui Bustamante, Rony**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por guiarnos y protegernos durante este camino que venimos recorriendo, por permitirnos tener fortaleza para superar las dificultades, por ser nuestro guía y acompañarnos en el transcurso de nuestra vida, brindándonos salud y sabiduría para lograr culminar con éxito nuestras metas.

A nuestras familias, por haberme dado todo su apoyo y brindarnos la oportunidad de formarnos en esta prestigiosa universidad, por creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

A la Ing. Violeta Zarela Quevedo Porras y al Metodólogo Yoner Jaime Romero Cueva, por la ayuda brindada y por guiarnos sabiamente en este proyecto con su experiencia y conocimiento en la investigación.

A todos nuestros compañeros y amigos que nos acompañaron en esta etapa, motivándonos a seguir adelante, aportando a nuestra formación tanto profesional y como seres humanos.

**Los Autores**

## TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	26
CAPÍTULO III: RESULTADOS	35
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	47
REFERENCIAS	57

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.....	35
TABLA 2.....	35
TABLA 3.....	36
TABLA 4.....	36
TABLA 5.....	38
TABLA 6.....	38
TABLA 7.....	38
TABLA 8.....	39
TABLA 9.....	40
TABLA 10.....	41
TABLA 11.....	42
TABLA 12.....	43
TABLA 13.....	44
TABLA 14.....	45
TABLA 15.....	46
TABLA 16.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.....	12
FIGURA 2.....	14
FIGURA 3.....	17
FIGURA 4.....	17
FIGURA 5.....	19
FIGURA 6.....	25
FIGURA 7.....	27
FIGURA 8.....	30
FIGURA 9.....	30
FIGURA 10.....	31
FIGURA 11.....	33
FIGURA 12.....	37

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. Ecuación De Balance Hídrico Para Sistema Modular De Techo Verdes .....	13
ECUACIÓN 2.Porcentaje De Retención De Agua De Lluvia.....	13

## RESUMEN

Las inundaciones urbanas ocasionadas por redes de drenaje sobrecargadas por intensas precipitaciones son un problema recurrente en nuestro país. En tal sentido la presente investigación tiene como objetivo analizar la viabilidad de la instalación de techos verdes para mejorar el drenaje pluvial en el Jr. Chanchamayo cuadra 14 – Cajamarca. La investigación tiene un alcance del tipo exploratorio descriptivo. La muestra es no probabilística de tipo intencional, 6 viviendas fueron seleccionadas para el estudio en la zona del proyecto y 4 unidades de estudio que consisten en 4 prototipos A y B: prototipos de techos verdes extensivos(A) y prototipos de techos verdes intensivos (B). Los resultados permitieron estimar una capacidad de retención de las cubiertas prototipo ensayadas de 40-77% de agua de lluvia para techos verdes extensivos y 43-87% para techos intensivos. Se determinó que la instalación de techos verdes es viable, siempre que sean techos verdes modulares extensivos, debido a que los valores de las derivas máximas cumplen con los valores establecidos en la norma peruana E-030. Se obtuvo un costo directo de S/441.50 por  $m^2$  evidenciándose tras un análisis que si es rentable a largo plazo.

**PALABRAS CLAVES:** Techos verdes, drenaje pluvial, drenaje urbano, retención de agua.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la actualidad hay una alta tasa de población rural que se desplaza hacia las zonas urbanas, según la (ONU, 2018), “actualmente el 55 % de la población mundial vive en ciudades y se calcula que para el 2050 la población urbana será el 68 % la población total”. El acelerado desarrollo urbano que podemos ver, produce una modificación del ciclo hidrológico, ya que como lo indica (Rowe, 2011) este genera la impermeabilización de superficies como techos y carreteras, arrojando como resultado un mayor índice de volúmenes de escorrentía, que sobrepasan la red de drenaje por la falta de zonas de infiltración.

Las inundaciones en zonas urbanas traen problemas como malestar entre los pobladores y destrozos en las propiedades, y es una problemática que afecta al Perú. Dentro de las ciudades afectadas se encuentra la región de Cajamarca, quien es la quinta ciudad más poblada del país con el 4.6% de la población total (INEI, 2018). Su precipitación pluvial tiene tres periodos; lluvioso con un 55%, un intermedio de 36% y un periodo seco con 9% de la precipitación anual (SENAMHI, 2012). En consecuencia, en tiempos de alta precipitación de lluvias, y debido a un ineficiente sistema drenaje pluvial, Cajamarca tienen inundaciones en diferentes puntos de la ciudad ubicados en zonas topográficamente bajas (INDECI, 2005).

Esta problemática ocasionada por las intensas lluvias, objeto de la investigación, se manifiesta en el Jr. Chanchamayo cuadra 14 de la ciudad de Cajamarca; donde las inundaciones de las calles afectan la calidad de vida de las personas, llegando a dañar las estructuras de las construcciones, la superficie pavimentada de la red vial y propiciando que se generen accidentes.

En respuesta a lo expuesto, actualmente alrededor del mundo se ve una mayor manifestación de propuestas de drenaje sostenible, que ayudan a minimizar los riesgos de inundaciones en las calles o avenidas, propiciadas por una mala distribución de la red de drenaje pluvial o un diseño defectuoso de esta (Soriano, 2012). En el área de la construcción ya hace algunos años se viene implementando sistemas constructivos con tecnologías amigables con el ambiente, evitando así ser uno de los sectores que más contribuye con la contaminación del país y el deterioro del ambiente (Chávez, 2014).

Una alternativa de construcción sostenible para el problema de drenaje pluvial en las zonas urbanas hoy en día son los techos verdes, ya que intentan imitar la hidrología que antes había en esas zonas, (Palla et al., 2010) afirma que “estos sistemas pueden gestionar y tratar a las aguas pluviales de manera distribuida, de tal forma que se implementen controles hidrológicos a pequeña escala para infiltrar, filtrar, almacenar, evaporar y detener la esorrentía”.

Como bases teóricas se tiene: Los techos verdes en su término en inglés “Green roofs”, son un sistema de cubiertas verdes para un edificio de manera parcial o completa, está conformado por varias capas, dentro de ellas una capa de vegetación y otras capas de membranas impermeables, son utilizadas para compensar la vegetación que se tuvo que eliminar por la urbanización (Kok, K et al., 2016).



*Figura 1.* Noltemeyer Hoefe, Alemania, residencial con techo verde de retención, que puede almacenar grandes cantidades de agua en caso de lluvia intensa y permitir que se drene al sistema de alcantarillado con un retraso de tiempo. Adaptado de *Arcguide* (<https://acortar.link/5oV7av>), 2021.

Los techos verdes forman parte de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) (Marchena, 2012), y juegan un papel muy importante en la recuperación del ciclo natural del agua en las ciudades. La importancia de los techos verdes radica en su capacidad de retención de agua de lluvia y la disminución de escorrentía superficial urbana, logrando reducir el pico de escorrentía y por consecuencia el retraso en el tiempo de concentración de aguas en los drenajes urbanos (Fioretti, Palla, Lanza, & Principi, 2010). La capacidad de retención de agua que tiene un techo verde se puede calcular según Pérez (2015) mediante simplificación de la ecuación de balance hídrico:

$$V_{Infiltración} = V_{Precipitación} - V_{Escorrentía} - V_{Evapotranspirado} \quad (1)$$

*Ecuación 1.* Ecuación de balance hídrico para sistema modular de techo verdes

La evaluación de la eficiencia de la retención de la escorrentía para cada recipiente del techo verde con simuladores de lluvia varía un poco ya que al ser tan corto el tiempo de los ensayos se considera despreciable el volumen de evapotranspirado (Vásquez, 2013), por lo que el porcentaje de retención de agua lluvia se calcula a través de la ecuación:

$$\%Retención = \left( \frac{Volumen\ de\ lluvia - Volumen\ de\ infiltración}{Volumen\ de\ lluvia} \right) * 100 \quad (2)$$

*Ecuación 2.* Porcentaje de retención de agua de lluvia

La utilización de estas cubiertas produce beneficios como: la retención de volúmenes de escorrentía, que se ha demostrado varía entre el 60 y el 85% de agua lluvia; la regulación de la temperatura en las estructuras; la purificación del aire, la disminución del efecto Isla de Calor Urbano, la generación de corredores ecológicos aportando biodiversidad, y beneficios económicos si desarrolla en estos el cultivo de biohuertos (Gutiérrez, 2008; Li & Yeung, 2014). (Li & Yeung, 2014).

Según (Morales et al., 2017) los techos verdes se clasifican de acuerdo a la profundidad del sustrato en dos tipos: techo extensivos e intensivos. El primero tiene un espesor del sustrato de máximo 20 cm, presenta una vegetación generalmente endémica de bajo porte, el peso de sistema oscila entre 60 y 200 kg/m<sup>2</sup> y es el de menor costo en implementación además de ser la más recomendada para utilizar en construcciones existentes, ya que no necesita refuerzos adicionales en la estructura. El segundo tipo de techo verde, tiene un espesor de sustrato mayor a 20 cm; estos sustratos espesos pueden llegar a alojar una variedad de plantas, desde comestibles hasta arbustos y se recomienda que este tipo de sistema se realice en construcciones nuevas, ya que es necesario un cálculo estructural previo debido a que el peso del sistema es superior a los 250 kg/m<sup>2</sup>, hasta los 400 Kg/m<sup>2</sup>.

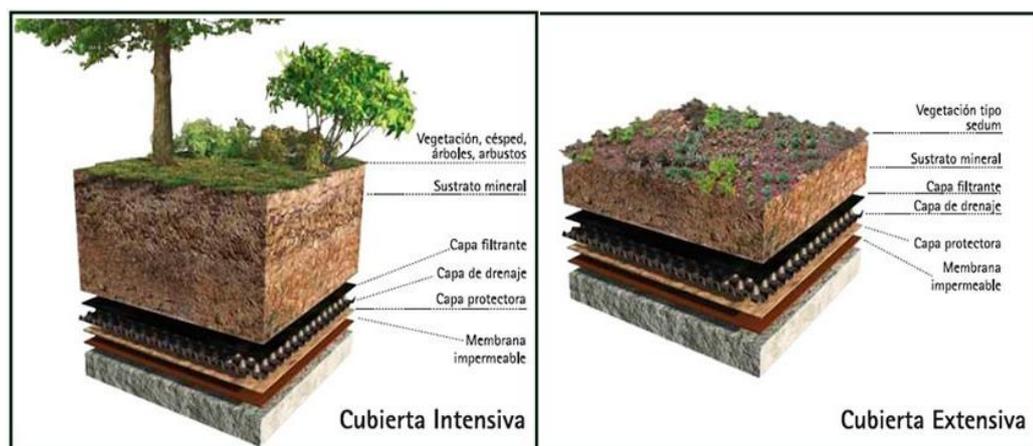


Figura 2. Existen dos tipos de techos verdes: intensivos y extensivos. Adaptado de *Helechos en Vertical* (p.17), por Helechos Sociedad Cooperativa Madrileña, 2016.

Según los diversos artículos estudiados para esta revisión, el correcto funcionamiento de un techo verde depende de forma directa de la presencia de las capas instaladas en este sistema (Morales et al., 2017). Las capas identificadas en diversas investigaciones son:

- a) **Vegetación:** El éxito de los techos verdes depende de la salud de la planta.

En la selección de la planta, debemos considerar la ubicación geográfica,

la intensidad de las precipitaciones, la humedad, la exposición al viento y al sol. Los medios de profundidad de crecimiento también pueden determinar las especies de plantas que podemos usar para los techos verdes.

- b) **Sustrato:** componente que proporciona el medio de crecimiento al material vegetal, este funciona como soporte mecánico para el correcto anclaje de las plantas o césped y debe estar compuesto por un alto contenido de sustancias orgánicas.
- c) **Capa filtrante:** Conformado por láminas a base de telas sintéticas (geotextil), permite que las partículas finas del sustrato se laven sin que pasen al drenaje reduciendo la permeabilidad del techo y funciona como segunda barrera anti raíz.
- d) **Drenaje y retención de agua:** “Este tipo de materiales (necesario en las cubiertas intensivas) lo que logra es retener agua e ir liberándola poco a poco ayudando a la hidratación general del sustrato. Además, coopera con la capa filtrante reteniendo residuo en su interior. Puede ejecutarse con canto rodado, piedra partida, etc. Crea una cámara de aire por donde se evacua el agua de la cubierta. Es completamente necesaria ya que si el sustrato se encharca cada vez que llueve las raíces de las plantas pueden tener problemas de hongos” (Osorio, 2015).
- e) **Capa de protección o barrera anti raíz:** protege el aislamiento térmico y a la membrana impermeable, protege a la estructura de las raíces que se producen en la capa de vegetación.
- f) **Impermeabilizante de techo:** membrana a prueba de agua pues los materiales del cual está fabricada evita la filtración del agua, de raíces y

de todo lo que pueda generar un problema en la losa; es la primera capa que se utiliza en la instalación y enmarca el inicio del techo verde (Morales et al., 2017). “Los materiales pueden ser cloruro de polivinilo (PVC) reforzado con fibra de polietileno, materiales de caucho, entre otros” (Osorio, 2015).

g) **Aislamiento térmico:** material aislante que tiene una capacidad de transporte de carga y eliminar puentes térmicos, puede o no ser adicionada en los techos verdes, dependiendo de las necesidades para las que sea construida.

h) **Soporte Estructural:** “La instalación de una azotea verde se puede llevar a cabo cualquier soporte estructural, siempre y cuando no se rebase la capacidad de carga admisible. Los materiales más comunes para realizar el soporte estructural son: concreto reforzado, elementos prefabricados de concreto, madera, mortero, láminas y cubiertas prefabricadas. El diseño del soporte estructural deberá realizarse conforme lo marca el Reglamento de Construcciones y las Normas Técnicas Complementarias para garantizar la estabilidad de la azotea verde” (Osorio, 2015).

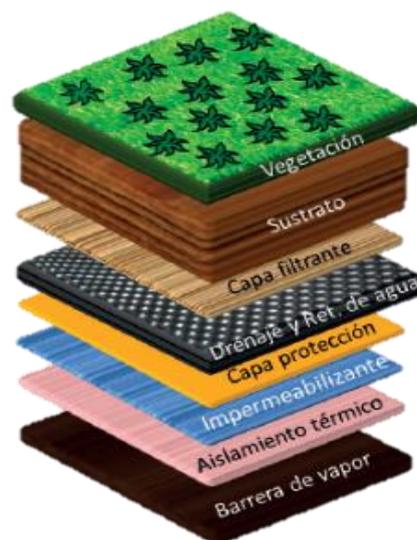


Figura 3. Capas que conforman un techo verde Adaptado de “Tendencias en el diseño, construcción y operación de techos verdes para el mejoramiento de la calidad del agua lluvia” (p.183) por Morales et al,2017, Ingeniería del Agua,21(3).

Los techos verdes juegan un papel muy importante en la búsqueda de soluciones sostenibles para drenajes urbanos, por su eficiencia de la mitigación de grandes volúmenes de lluvia. Según Morales et al. (2017) en su artículo de investigación “Tendencias en el diseño, construcción y operación de techos verdes para el mejoramiento de la calidad del agua de lluvia. Estado del arte”, concluye que los techos verdes son capaces de retener un valor medio de 69% de precipitaciones en un clima subtropical, con precipitación promedio anual de 866 mm y una profundidad media anual de lluvia entre 120 y 600 mm, este volumen es absorbido en grandes porcentajes por la vegetación y posteriormente liberado por evapotranspiración; por otro lado una investigación realizada por Köhler et al. (2002), para un tipo de techo verde extensivo, ha demostrado que en Hamburgo, donde la precipitación anual alcanza los 820 mm, se retuvo aproximadamente un 60% de agua de lluvia; mientras que en Berlín, ciudad con una precipitación anual de 500mm se encontró una retención del 75 % de agua de lluvia.

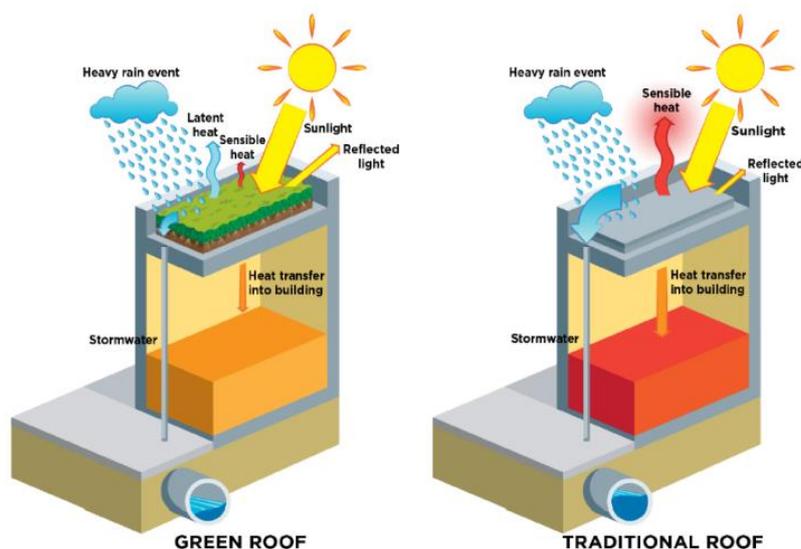


Figura 4. Comparación de beneficios entre un techo verde y un techo convencional. Adaptado de “Análisis de costo-beneficio de los sistemas de drenaje sostenible considerando los beneficios de

los servicios ecosistémicos: estudio de caso de la cuenca del canal do mangue en la ciudad de Río de Janeiro, Brasil”, Fraga et al, 2022, *Tecnologías Limpias y Política Ambiental*, 24(1).

Para que este sistema pueda funcionar correctamente es necesario analizar los factores que influyen en este proceso hidrológico, como:

**a) Capa de drenaje**

De no haber un correcto drenado del agua infiltrada en los techos verdes esta se comenzaría a almacenar generando la saturación de las capas y problemas en la cubierta de la estructura (Baryła, 2019).

**b) Tipo y profundidad del sustrato de los techos verdes**

Están estrechamente relacionadas con la tasa de retención de agua, como lo demuestran los estudios experimentales realizados en la investigación de Ferrans et al. (2018) que usando un sustrato extenso (sustrato comercial, que incluye comúnmente arcilla) obtuvo como resultado una retención promedio del 69% y al utilizar un sustrato intensivo (sustrato comercialmente disponible más común para GR intensivos) obtuvo una retención de 92%.

**c) Pendiente**

Los valores de retención de aguas pluviales disminuyen a medida que aumentan las pendientes de los techos, se debe considerar una pendiente mínima de 5% de no ser así, se tendrá que colocar un drenaje especial (Getter et al., 2007).

**d) Intensidad de precipitación**

Según diversos estudios (Carter & Rasmussen, 2006) se cree es el factor más importante es la intensidad de la precipitación, ya que se mostró que el aumento de la intensidad de la lluvia resulta en una baja en las tasas de retención de techo verdes, no obstante, también se encontró que, si aumenta el número de días secos antecedentes a la precipitación, esto ayuda significativamente a la capacidad de

retención de agua por parte de los techos verdes.

Las especies vegetativas más usadas para los techos verdes son: las diferentes especies de Sedum, hierbas, lechugas, rabanitos y flores silvestres (Morales et al., 2017). Autores como (Dunnett et al., 2008) concluyen con sus investigaciones que la composición de la vegetación afecta significativamente la cantidad de agua retenida; sin embargo, hay otros estudios que discrepan, indicando que la vegetación sola no es la que tiene influencia en la retención de esorrentía, sino que es la vegetación acompañada de un tipo de sustrato adecuado.

ESPECIES MÁS APTAS PARA TECHOS VERDES	
 <p><b>SEDUM</b> Nombre científico <i>Sedum sp.</i> Nombre común Sedum</p>	 <p><b>HELECHO</b> Nombre científico <i>Asplenium praemorsum</i> Nombre común Helecho pequeño</p>
 <p><b>GAZANIA</b> Nombre científico <i>Gazania rigens</i> Nombre común Margarita amarilla</p>	 <p><b>POINSETTIA</b> Nombre científico <i>Euphorobia pulcherima</i> Nombre común Estrella de Navidad</p>
 <p><b>RÁBANO</b> Nombre científico <i>Raphanus sativus</i> Nombre común Rábano</p>	 <p><b>LECHUGA</b> Nombre científico <i>Raphanus sativus L</i> Nombre común Lechuga seda</p>

Figura 5. Especies mejor adaptadas para usar en techos verdes. Adaptado de “Tendencias en el diseño, construcción y operación de techos verdes para el mejoramiento de la calidad del agua lluvia” (p.191) por Morales et al,2017, *Ingeniería del Agua*,21(3).

Los techos verdes representan una nueva tendencia en la construcción urbana en especial en ciudades con problemas de drenaje pluvial, ya que integra lo natural con las construcciones. Este tipo de estructuras con cubierta verde, mejora su vida útil por más de 20 años, protegiendo a la vivienda de daños mecánicos y ambientales (Oberndorfer et al., 2007). Sin embargo, es necesario recalcar que el diseño tiene que ser el adecuado para no ocasionar problemas a la estructura, como la deformación de la losa, teniendo que

cumplir con lo establecido en la norma E030 que establece una deriva máxima de 0.007 para estructuras de concreto armado.

Desde años atrás, existen diversas investigaciones y proyectos realizados de manera exitosa en diferentes partes del mundo, en su mayoría en países como China, Estados Unidos y Australia. Estas investigaciones forman parte de los antecedentes que se usaron como base en nuestro proyecto de investigación, dentro de ellos tenemos.

Según Kok, K et al. (2016) en su artículo de investigación “Evaluación del desempeño de techos verdes para la cantidad de aguas pluviales urbanas y controles de calidad” concluye que de las simulaciones realizadas para evaluar un desempeño cuantitativo de un extenso sistema de techo verde bajo clima tropical muestra que la descarga máxima de la escorrentía de aguas pluviales se redujo hasta un 26% en relación con el techo de tejas de concreto para tormentas con lluvia intensa.

Según Ahiablame et al. (2012) en su investigación “Efectividad de prácticas de desarrollo de bajo impacto: revisión de literatura y sugerencias para investigaciones futuras” recopila y analiza información de 13 casos de estudio, en donde la retención promedio de lluvia varía entre el 23% y 100%. Por otro lado, otros autores como (DeNardo et al., 2005; Berndtsson et al., 2009) también coinciden con indicar en sus estudios que la retención promedio en los techos verdes varía entre el 20% y 85%, dando a conocer que los techos verdes tienen una capacidad de retención muy buena en la mayoría de condiciones.

Según Contreras & Villegas (2016) en su investigación “Diseño de Prototipo de Techo Verde Para Captación De Agua Pluvial: Caso De Estudio Usaquéen Colombia”, basado en el modelamiento de la inundación que se presenta en la zona de estudio, variando las características de escorrentía e infiltración de los techos y diseñando un

prototipo de techo verde extensivo para ver la retención de agua y posteriormente tomar los datos para modelarlo con el software, se concluye que el diseño propuesto del techo verde es eficiente teniendo en cuenta la simulación generada, y cumple con los aspectos necesarios para la retención de agua pluvial, convirtiéndola en una solución eficiente a problemas de inundación por empozamiento presente en todo el mundo.

Los techos verdes, no solo se están empleando a nivel mundial, sino que nuestro país no es ajeno a este tipo de sistemas.

Según Rodríguez (2017) en su investigación para obtener el grado de Ingeniería Civil “Propuesta de diseño de techo verde en azotea para vivienda en zona de expansión urbana en el Distrito de Nuevo Chimbote, 2017”, basada en una metodología descriptiva con un enfoque cuantitativo y a su vez no experimental, llegó a la conclusión de que la propuesta de diseño de techo verde es viable para la zona de expansión urbana en estudio; ya que el peso de la carga aportada para el diseño, de la losa aligerada es de  $e = 17\text{cm}$  con una carga de  $142.80\text{ kg/m}^2$ , es aceptable que no provocaría daños en la estructura.

Como segundo antecedente nacional tenemos, Salas (2017) en su investigación de tesis de pregrado “Propuesta de implementación del uso de techos verdes con geomembrana importada de Estados Unidos en el distrito de san miguel, para cumplir con la meta 8 de biodiversidad de Aichi” - Universidad San Martín de Porres, Lima, Perú. Esta investigación se realizó empleando una metodología basada en un diseño exploratorio cualitativo y descriptivo cuantitativo; y tuvo como aportes la elaboración de un costo aproximado para un techo verde basado en materiales como: geomembrana, estructura de drenaje, sustrato y vegetación de S/. 80 por  $\text{m}^2$  para dicha implementación.

Como antecedentes locales, se tienen muy pocos estudios en referencia al uso o implementación de techos de techos verdes o drenajes sostenibles, siendo considerados los siguientes.

Según Merlo y Soto (2020) en su investigación de tesis de pregrado para la obtención del bachiller en ingeniería civil “Tipos De Drenaje Usados En Ciudades Importantes A Nivel Nacional E Internacional: Una Revisión Sistemática” se concluye que la gran mayoría de ciudades carecen de un sistema de drenaje pluvial adecuado, dentro de ellas la Ciudad de Cajamarca; esto se debe a la falta de una correcta planificación urbanística en las ciudades. Se recomienda mediante esta investigación y después de un análisis de la información proponer propuestas de solución al drenaje convencional usado en Cajamarca, una de ellas la implementación de los llamados Sistemas de Drenaje Sostenible.

Según Carrasco y Jara (2020) en su investigación de tesis de pregrado “Estudio Comparativo De Materiales Convencionales Y De Origen Natural En La Construcción De Prototipos Para Techos Verdes Extensivos En La Ciudad De Cajamarca, 2020” esta investigación se realizó con una metodología experimental, exploratoria y se basa en resultados obtenidos de prototipos de techos verdes extensivos. Se concluye que estos prototipos tuvieron un porcentaje de retención de agua de 8.03% con materiales no convencionales y 9.08% con materiales convencionales, y el costo por metro cuadrado es S/.190.65 para techos verdes materiales convencionales y S/.140.96 para materiales no convencionales.

Según Muñoz (2021) en su investigación de tesis de pregrado “Factibilidad Y Diseño De Una Vivienda Usando Techos Verdes En El Sector Las Casitas, Caserío Tartar Grande, Distrito los Baños Del Inca - Cajamarca, 2019” basada en una metodología no

experimental-descriptiva, se llegó a la conclusión de que este sería un proyecto viable, que cumple condiciones técnicas estructurales y financieras; cumpliendo con los desplazamientos límite que establece la norma E030 Diseño Sismorresistente de 0.007 para estructuras de concreto armado.

La revisión sistemática realizada para la base teórica de nuestra investigación y los antecedentes, ayudaron a analizar y descubrir la importancia del sistema de construcción de techos verdes, y como puede este ayudar en las zonas urbanas. Esto debido a que el agua de lluvias en las áreas urbanas, se descarga a través de los sistemas de alcantarillado convencionales, que después de recibir la esorrentía, la transportan al receptor, lo que resulta en una descarga repentina de un gran volumen de agua dependiendo de los niveles de precipitación producidos (Burszta-Adamiak et al., 2019).

La reducción de los volúmenes de esorrentía que se pueden realizar mediante el uso de nuevas tecnologías de sistemas de drenaje urbano sostenible, sería una gran ayuda para las ciudades que tengan problemas de inundaciones sin hacer un cambio costoso por un nuevo diseño en su sistema de drenaje.

Por lo antes expuesto, la investigación plantea la siguiente pregunta: ¿De qué manera la instalación de techos verdes mejora el drenaje pluvial en Jr. Chanchamayo cuadra 14, Cajamarca en el año 2022? Teniendo como objetivo general, analizar la viabilidad de la instalación de techos verdes para mejorar el drenaje pluvial en el Jr. Chanchamayo cuadra 14 – Cajamarca y como objetivos específicos: identificar en que porcentaje disminuiría los volúmenes de esorrentía con la instalación de techos verdes en la zona de estudio, demostrar cómo afectaría la instalación de un techo verde a la estabilidad de la estructura mediante el modelamiento en el Software ETABS y determinar el costo de instalación de un techo verde en la zona urbana de Cajamarca.

La información presentada anteriormente da lugar a la siguiente hipótesis: la instalación de techos verdes es viable y mejora en un 40% el drenaje pluvial en el Jr. Chanchamayo cuadra 14 – Cajamarca. La investigación basa su justificación en los riesgos de inundación que tiene la ciudad de Cajamarca en diferentes puntos, generadas por las intensas precipitaciones que se dan en época de lluvia y que generan un gran volumen en un corto tiempo de concentración, debido a la calidad y a la permeabilidad del suelo que imposibilitan el drenaje natural (INDECI, 2005).

La zona de estudio tomada para esta investigación es la cuadra 14 del Jr. Chanchamayo, que como se evidencia en el Mapa de Peligros de la ciudad de Cajamarca realizado por el Instituto Nacional De Defensa Civil, se encuentra en un nivel de inundación medio (INDECI-Programa de Prevención y Medidas de Mitigación Ante Desastres de la Ciudad de Cajamarca, 2005).

Por tal motivo el trabajo de investigación busca dar una solución viable a la problemática de inundaciones urbanas producidas principalmente por el déficit de amortiguación del agua lluvia en espacio público, mediante la instalación de techos verdes en las viviendas aledañas a las cuadras donde se originan los puntos específicos de problemas de drenaje pluvial. Esto contribuirá a evitar el colapso del drenaje debido al rebosamiento de los sumideros, logrando así que a picos altos de precipitación no se produzca un desborde del sistema de drenaje y se inunden las calles e incluso algunas viviendas, lo que genera daños a las estructuras. Esta investigación permitirá conocer cuánto es el porcentaje de agua de lluvia que pueden retener un  $m^2$  de techo verde y como se puede implementar a escala en las viviendas para disminuir el problema de drenaje pluvial a un costo más bajo en comparación a lo que costaría un nuevo diseño de sistema de drenaje y garantizando que no exista daños estructurales por la instalación de estas cubiertas en las edificaciones.

Es importante resaltar que no se han realizado estudios de este tipo en esta zona lo que aporta conocimientos de interés al barrio de Chontapaccha.



*Figura 6.* Inundación en el mes de abril-2022.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La investigación según su alcance es de tipo exploratorio descriptiva, debido a que el estado del conocimiento sobre los techos verdes como alternativa para la mejora de los problemas de drenaje pluvial en la ciudad de Cajamarca es escasa, ciertamente la perspectiva que se pretende dar al estudio no ha sido realizada antes y según (Hernández et al., 2014) define a la investigación cuasi-exploratoria como aquella cuyo objetivo es examinar un tema poco estudiado o novedoso con la finalidad de obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa respecto de un contexto particular e indagar nuevos problemas para dar solución.

Según su enfoque, la investigación es de tipo cuantitativa, ya que se realizó un trabajo que involucra datos cuantitativos (Pole, 2009). Y posee un diseño cuasiexperimental, debido a que se realizó cuatro prototipos de techos verdes, el modelamiento de una vivienda con esta cubierta en ETABS y un análisis de costos. De esta manera analizando los datos en conjunto se pudo determinar la viabilidad de la implementación del uso de techos verdes para mejorar el drenaje pluvial en la zona de estudio.

Para la investigación se consideró como población a las 24 viviendas aledañas a la cuadra 14 del Jr. Chanchamayo y como muestra no probabilística intencional 6 viviendas fueron seleccionadas, además de tener una unidad de estudio basada en 4 prototipos A y B: prototipos de techos verdes extensivos(A) y prototipos de techos verdes intensivos (B). La unidad de estudio se usó para hallar el porcentaje de retención de lluvia, el costo y el peso por  $m^2$  de techo verde; estos resultados variarán de acuerdo con el tipo de techo verde analizado. Después de encontrar estos resultados, se realizó un análisis para la muestra total de la investigación, brindando así resultados correctos a escala.

Los criterios de inclusión y exclusión considerados para la selección de las viviendas estudiadas son: viviendas de hechas de concreto armado, con techos de pendiente máxima del 5% y en una sola dirección, que tengan un drenaje pluvial que desemboque directamente a la calle, con áreas disponibles para la instalación de los techos verdes modulares del 10 -30% del techo total y en donde se tenga disposición por parte de los propietarios para una futura instalación de este proyecto.

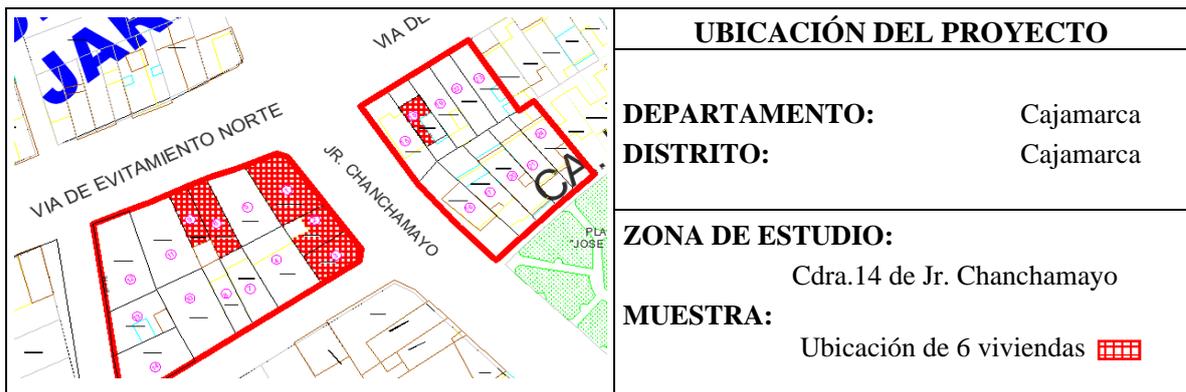
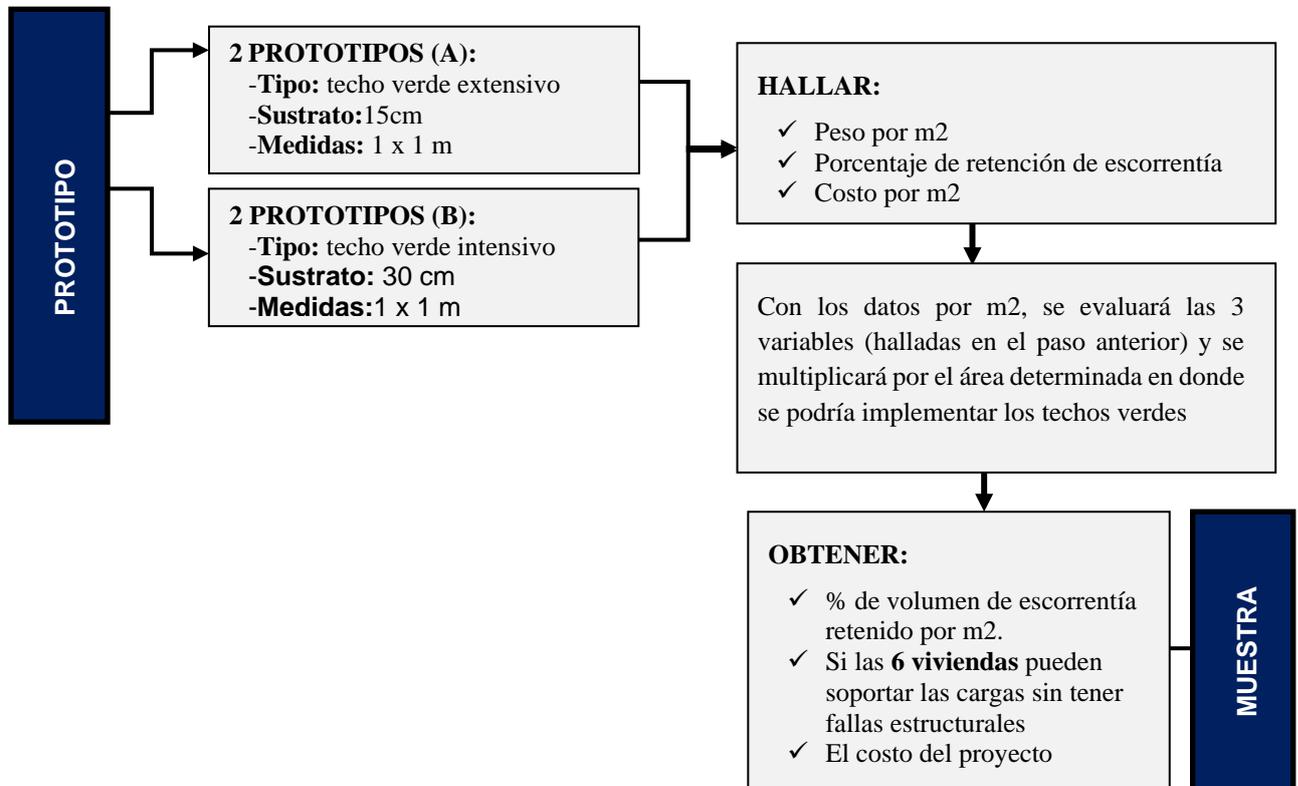


Figura 7. Ubicación del proyecto, croquis de las viviendas seleccionadas para el proyecto. Tomado de Plano Catastral de Cajamarca, 2019.

### Diagrama de relación entre unidad de estudio y muestra



Como técnicas de recolección se tuvieron dos: el análisis documental y la

observación directa cuantitativa. La primera técnica se empleó para analizar dos cosas: toda la información sobre los tipos de techo verde, los espesores de sustrato, la pendiente, el tipo de vegetación y de esta forma decidir cual se usaría en la edificación tomando en cuenta los parámetros estructurales; por otro lado, también se usó para el análisis de la información estructural sobre las viviendas seleccionadas para esta investigación. La segunda técnica, se usó para la obtención de datos de los prototipos de techos verdes; se dio de modo sistemático, en base a protocolos controlados para evitar subjetividad. Los datos obtenidos son la base de toda la investigación, para así analizar los volúmenes de escorrentía, el peso y costo por m<sup>2</sup> de techo verde, para posteriormente evaluarlo en toda la zona de estudio.

Para la recolección de datos e información en el presente estudio se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Revisión sistemática de techos verdes elaborada con anterioridad.
- Fichas técnicas de los materiales (Anexo 13-15).
- Planos de ubicación del proyecto (Anexo 6) y de las viviendas seleccionadas para evaluar la estabilidad estructural de esta, con la adición de la cobertura de techos verdes.
- Fichas de observación y recolección de datos para las viviendas.
- Plano para la construcción de prototipos de techos verdes.
- Fichas de observación para la recolección de datos de los ensayos realizados en los prototipos de techos verdes.
- Microsoft EXCEL, para elaboración y procesamiento de datos obtenidos experimentalmente.
- Software: Google Earth, AutoCAD, S10 y ETABS

El procedimiento de recolección y análisis de datos siguió la siguiente línea:

Se recolectó información de 30 artículos científicos de techos verdes de diferentes revistas como ScienceDirect, ResearchGate, de la plataforma de Redalyc, SciELO, ProQuets y Dialnet; procedimiento que se hizo a través de la revisión sistemática, para poder tener conocimiento sobre los aspectos generales, tipos y variables influyentes en los techos verde, así como también analizar los beneficios que estos pueden tener en especial para la retención de agua de lluvias, siendo esta una de las mejores alternativas para la mejora de drenajes pluviales en zonas urbanas.

Se escogió una zona que se vea afectada por inundaciones en épocas de lluvia, en especial cuando existen altos picos en la intensidad de la lluvia provocando inundaciones en las calles e incluso algunas casas, debido a la sobrecarga de los drenajes pluviales, limitando la zona de estudio a través de Google Earth e identifica mediante una visita de campo las viviendas que tienen características para poder implantar una cubierta de techo verde y el área que tienen disponible para esta instalación.

Se elaboró 4 prototipos para evaluar el porcentaje de retención de agua de cada tipo de techo verde y la variación en los costos de estos.

- **PROTOTIPO A:** prototipos de techos verdes extensivos A1 Y A2.
- **PROTOTIPO B:** prototipos de techos verdes intensivos B1 Y B2.

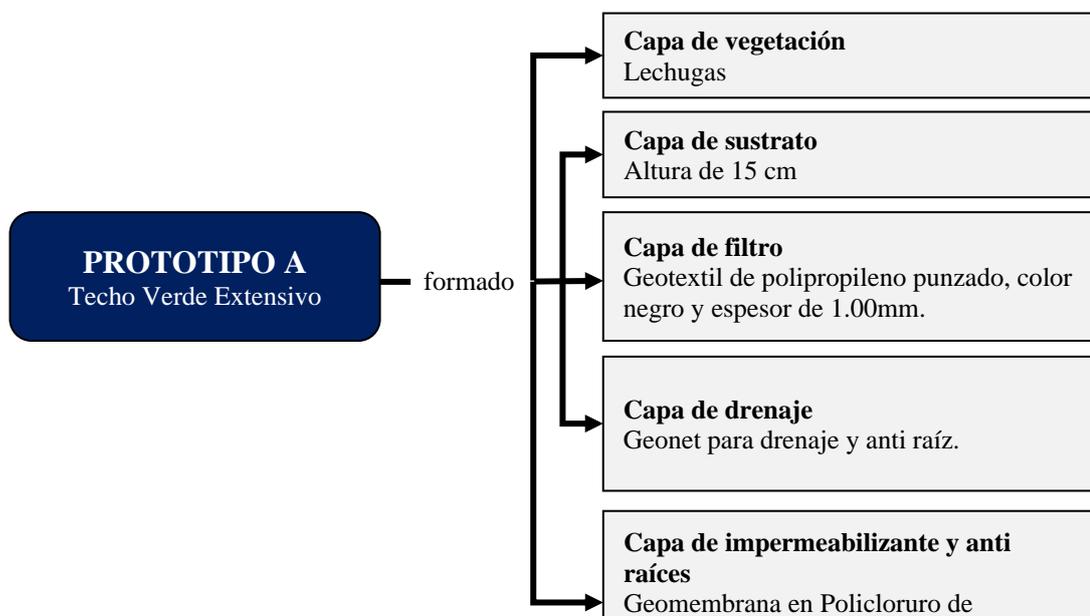


Figura 8. Diagrama de los componentes del PROTOTIPO A - Techo verde Extensivo.

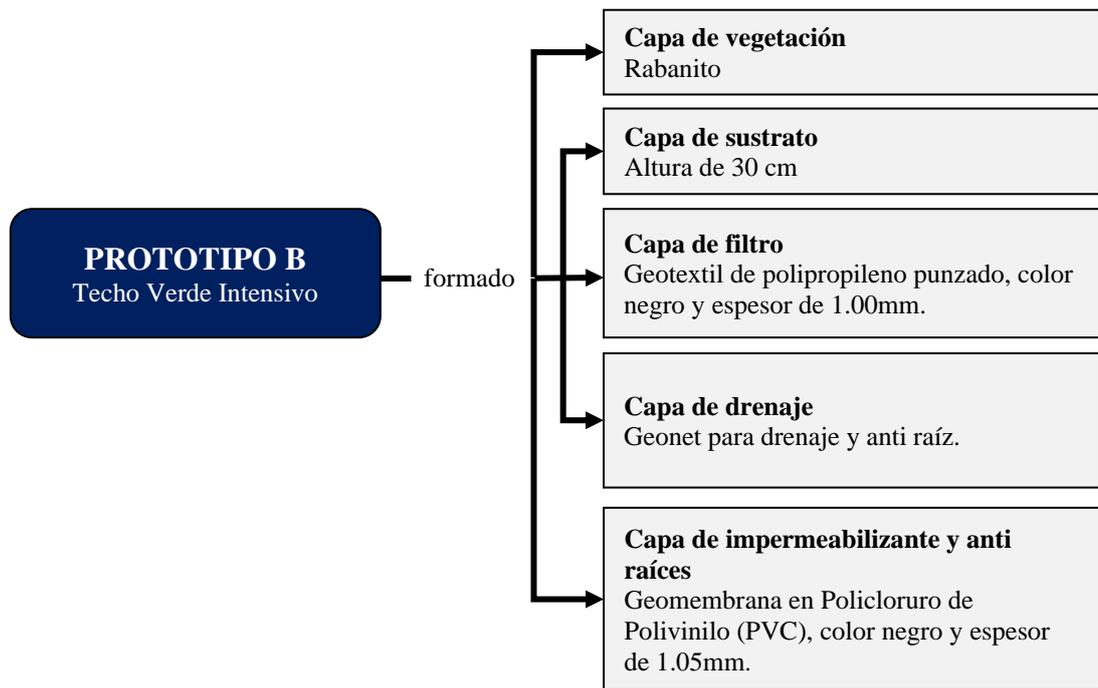
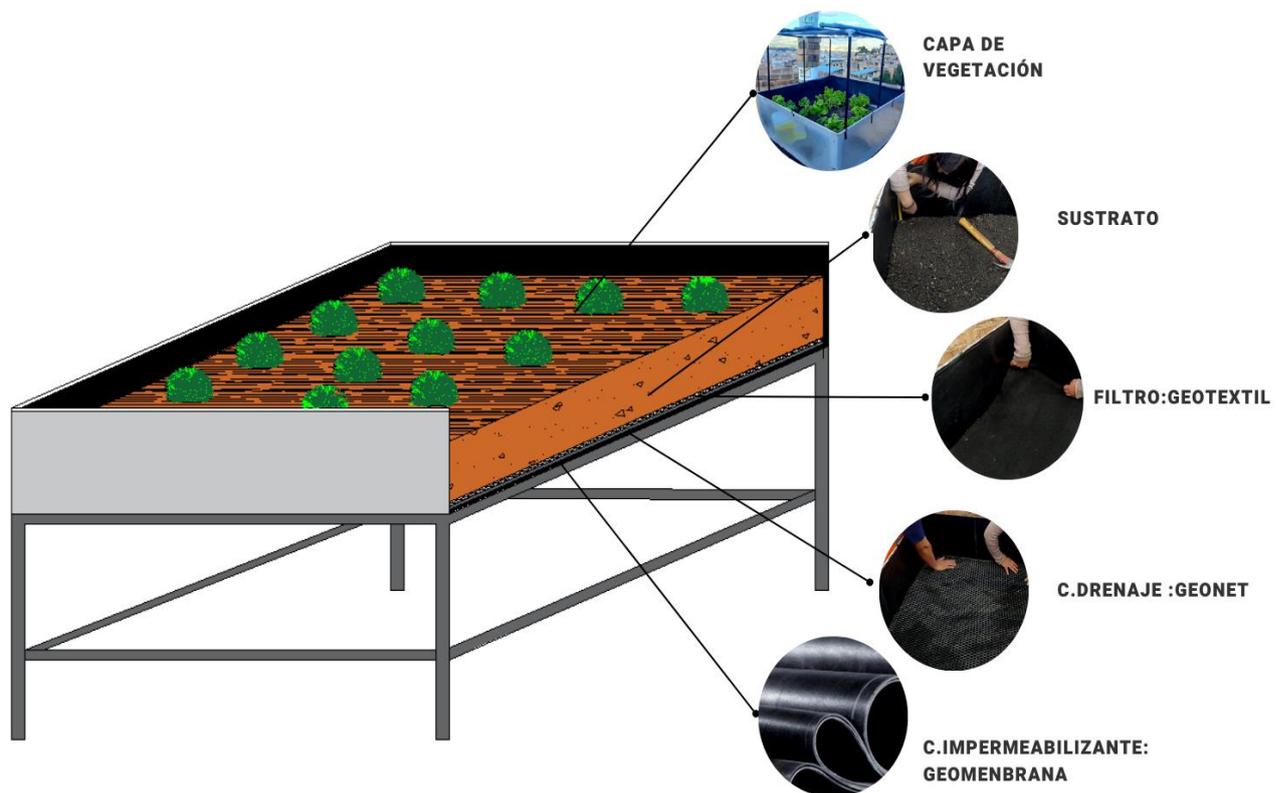


Figura 9. Diagrama de los componentes del PROTOTIPO B-Techo verde Intensivo.



*Figura 10.* Modelado del prototipo-Corte transversal para identificación de capas.

Para la elaboración de los prototipos se tuvo en cuenta los siguientes pasos (Anexo 11):

1. Construir el soporte metálico en forma de una mesa cuadrada de un 1m x 1m con una altura de 0.75 m que deberá estar graduada a 5°.
2. Elaborar una capa de soporte base de plancha de acero galvanizado de 1m x 1m; para poner ahí las capas que tiene un techo verde.
3. Colocar la membrana impermeable (Geomembrana) en la estructura, plancha y paredes del contenedor de las capas del techo verde.
4. Instalar la capa de drenaje, para ello Geonet, y para la capa de filtración Geotextil de Polipropileno.

5. Colocar capa de sustrato de 15 cm para suelo extensivo y de 30cm para suelo intensivo y plantar las hortalizas (lechuga y rabanito) a la capa de sustrato.
6. Armar el simulador de lluvia según lo especificado en el plano (Anexo 11).

Una vez obtenido el porcentaje de retención de agua de lluvia por un metro cuadrado de techo verde mediante el ensayo de retención e infiltración de agua de los techos verdes tanto para el suelo no saturado como el parcialmente saturado de agua (Anexo 7-10), se procedió a analizar la cantidad de techos modulares que se pueden ubicar en cada una de las viviendas seleccionadas, posteriormente con la ayuda de los planos elaborados en AutoCAD se realizó el modelado de las edificaciones en ETABS y teniendo los datos procesados en el programa, se verifico si la vivienda tiene estabilidad estructural o no, de acuerdo con la carga añadida por el techo verde, teniendo en cuenta los parámetros estructurales dados por la Norma E.030.

Se analizó el costo por metro cuadrado del techo verde de tipo extensivo e intensivo, para poder determinar si es una solución económica a los problemas de drenaje pluvial o si por el contrario su instalación representa un costo muy elevado.

Finalmente se determinó si la instalación de techos verdes es viable, teniendo en cuenta el costo, como afectará a la estructura y si el porcentaje de retención de escorrentía es importante para ayudar a mejorar el desborde de drenaje pluvial.

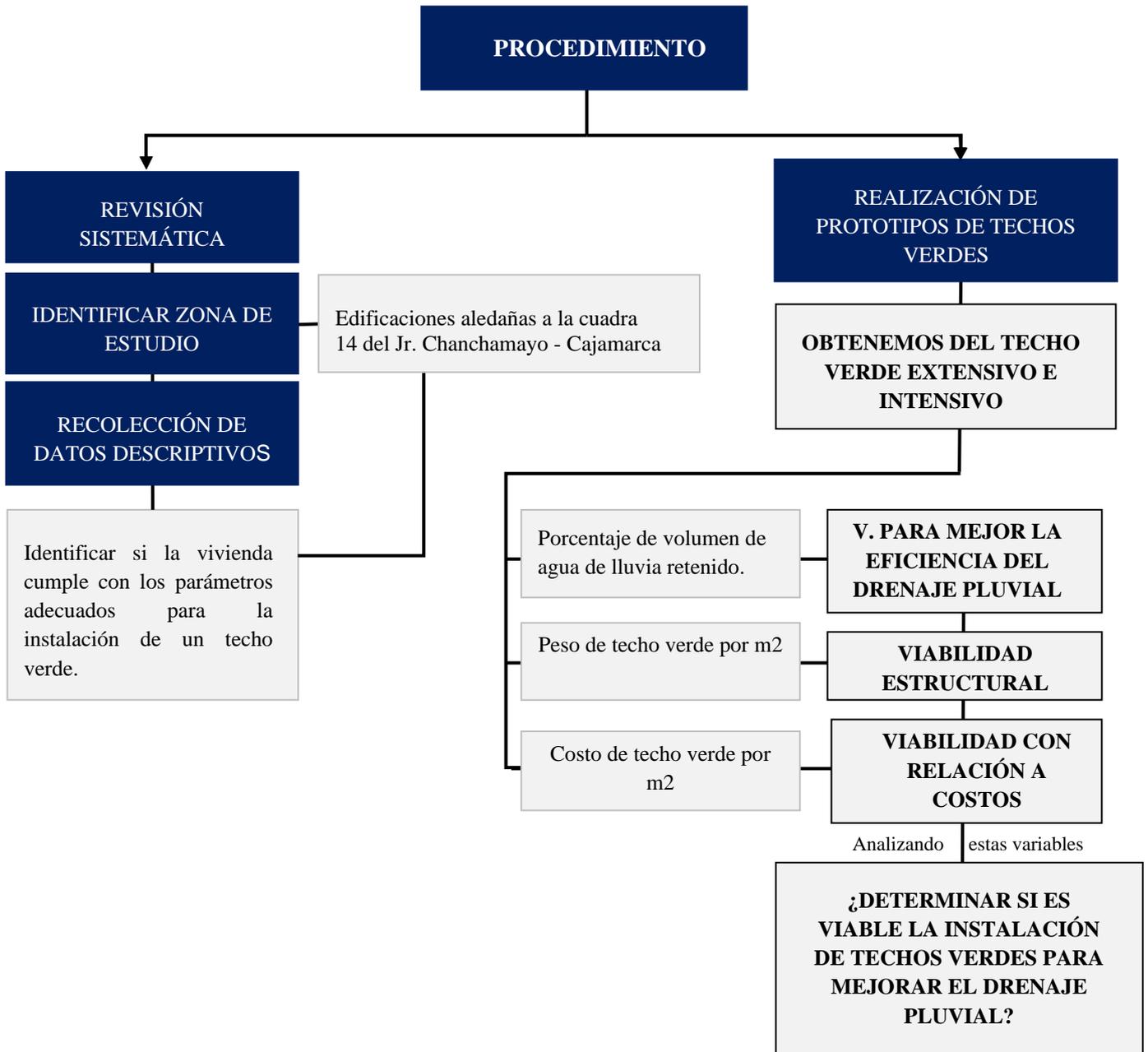


Figura 11. Diagrama de procedimiento y análisis de datos.

Para determinar la validez y confiabilidad de los resultados que se obtuvieron se presentó las fichas de observación usadas en la recolección de datos de los ensayos de retención de agua realizados en los prototipos, debidamente firmados por un encargado y

las fichas técnicas de cada material usado en estos. Para el análisis estructural que se realizó mediante el software, se hallaron los desplazamientos que ocasionaron estas cargas y se compararon con los valores que establece la norma E030 Diseño Sismorresistente, siendo el valor límite 0.007 para estructuras de concreto armado. Logrando así resultados válidos para analizar la viabilidad de la instalación de techos verdes en la zona del proyecto.

Los datos recolectados y presentados en este proyecto son veraces; respetando la propiedad intelectual basándose en bibliografía virtual encontrada; y en el análisis de datos obtenidos experimentalmente y con el modelado en el software sin intervención o modificación alguna para favorecer a la afirmación de nuestra hipótesis. Logrando así una investigación verídica que cumple con respetar los derechos de autor, tiene un enfoque de responsabilidad social y cumple con los aspectos éticos de una investigación.

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

Se presentan los principales resultados de esta investigación en tres apartados.

#### 3.1 PORCENTAJE DE AGUA RETENIDA POR LOS PROTOTIPOS

##### ▪ **Prototipos A: Techos verdes extensivos**

Para el análisis del porcentaje de retención de agua que puede tener un techo verde modular de  $1m^2$  tipo extensivo (15 cm – sustrato) se utilizó una simulación de lluvia por goteo, con un volumen de 40l de agua. Se realizaron 2 ensayos en prototipos diferentes A:1-2, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Porcentaje de agua retenida por el prototipo de techo verde A:1-2 sustrato no saturado*

DESCRIPCIÓN	ENSAYO		PROMEDIO	TASA %
	1	2		
	<b>Tiempo de lluvia (min)</b>	7		
<b>Volumen de agua empleado (L)</b>	40	40	40	100.0
<b>Volumen de agua filtrada (L)</b>	9.38	9.46	9.42	23.5
<b>Volumen de agua retenido (L)</b>	30.62	30.54	30.58	76.5

En la tabla N° 1, se puede observar el porcentaje promedio de agua filtrada y retenida por los prototipos de techos verdes extensivos (15 cm - sustrato sin saturar) para una lluvia de 40mm. Este techo verde modular puede llegar a retener hasta un 77% de agua de lluvia.

Se realizó también ensayos para el análisis del porcentaje de retención de agua que puede tener un techo verde modular de  $1m^2$  tipo extensivo cuando está saturado parcialmente de agua ( $\frac{1}{4}$  del sustrato está contiene previamente agua). Se realizaron 2 ensayos, en los prototipos A:1-2, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Porcentaje de agua retenida por el prototipo de techo verde A:1-2 sustrato parcialmente saturado*

DESCRIPCIÓN	ENSAYO		PROMEDIO	TASA %
	1	2		
	<b>Tiempo de duración de lluvia (min)</b>	7		
<b>Volumen de agua empleado (L)</b>	40	40	40	100.0
<b>Volumen de agua filtrada (L)</b>	23.48	24.44	23.96	59.9
<b>Volumen de agua retenido (L)</b>	16.52	15.56	16.04	40.1

En la tabla N° 2, se puede observar el porcentaje promedio de agua filtrada y retenida por los prototipos

de techos verdes extensivos (15 cm - sustrato parcialmente saturado) para una lluvia de 40mm. Este techo verde modular puede llegar a retener hasta un 40% de agua de lluvia.

▪ **Prototipos B: Techos verdes intensivos**

Para el análisis del porcentaje de retención de agua que puede tener un techo verde modular de  $1m^2$  tipo intensivo (30 cm – sustrato) se utilizó una simulación de lluvia por goteo, con un volumen de 40l de agua. Se realizaron 2 ensayos en prototipos diferentes B:1-2, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Porcentaje de agua retenida por el prototipo de techo verde B:1-2 sustrato no saturado*

<b>PORCENTAJE DE AGUA RETENIDA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>ENSAYO</b>		<b>PROMEDIO</b>	<b>TASA %</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>		
<b>Tiempo de lluvia (min)</b>	7	7	7	-
<b>Volumen de agua empleado (L)</b>	40	40	40	100.0
<b>Volumen de agua filtrada (L)</b>	5.49	5.29	5.39	13.5
<b>Volumen de agua retenido (L)</b>	34.51	34.71	34.61	86.5

En la tabla N° 3, se puede observar el porcentaje promedio de agua filtrada y retenida por los prototipos de techos verdes intensivos (30cm - sustrato sin saturar) para una lluvia de 40mm. Este techo verde modular puede llegar a retener hasta un 87% de agua de lluvia.

Asimismo, se realizó ensayos para el análisis del porcentaje de retención de agua que puede tener un techo verde modular de  $1m^2$  tipo extensivo cuando está saturado parcialmente de agua ( $\frac{1}{4}$  del sustrato está contiene previamente agua). Se realizaron 2 ensayos, en los prototipos A:1-2, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Porcentaje de agua retenida por el prototipo de techo verde B:1-2 sustrato parcialmente saturado*

<b>PORCENTAJE DE AGUA RETENIDA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>ENSAYO</b>		<b>PROMEDIO</b>	<b>TASA %</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>		
<b>Tiempo de lluvia (min)</b>	6	7	6.5	-
<b>Volumen de agua empleado (L)</b>	40	40	40	100.0
<b>Volumen de agua filtrada (L)</b>	22.55	23.04	22.79	57.0
<b>Volumen de agua retenido (L)</b>	17.45	16.96	17.21	43.0

En la tabla N° 4, se puede observar el porcentaje promedio de agua filtrada y retenida por los prototipos de techos verdes extensivos (30 cm - sustrato parcialmente saturado) para una lluvia de 40mm. Este techo verde modular puede llegar a retener hasta un 43% de agua de lluvia.

La figura 11 nos muestra el tiempo que se puede retardar la escorrentía del agua al usar un techo verde en comparación al tiempo que demora la escorrentía en llegar a un drenaje pluvial si solo es un techo de concreto. Este análisis se realizó mediante un ensayo de simulador de lluvia por goteo, con un volumen de 40L de agua.

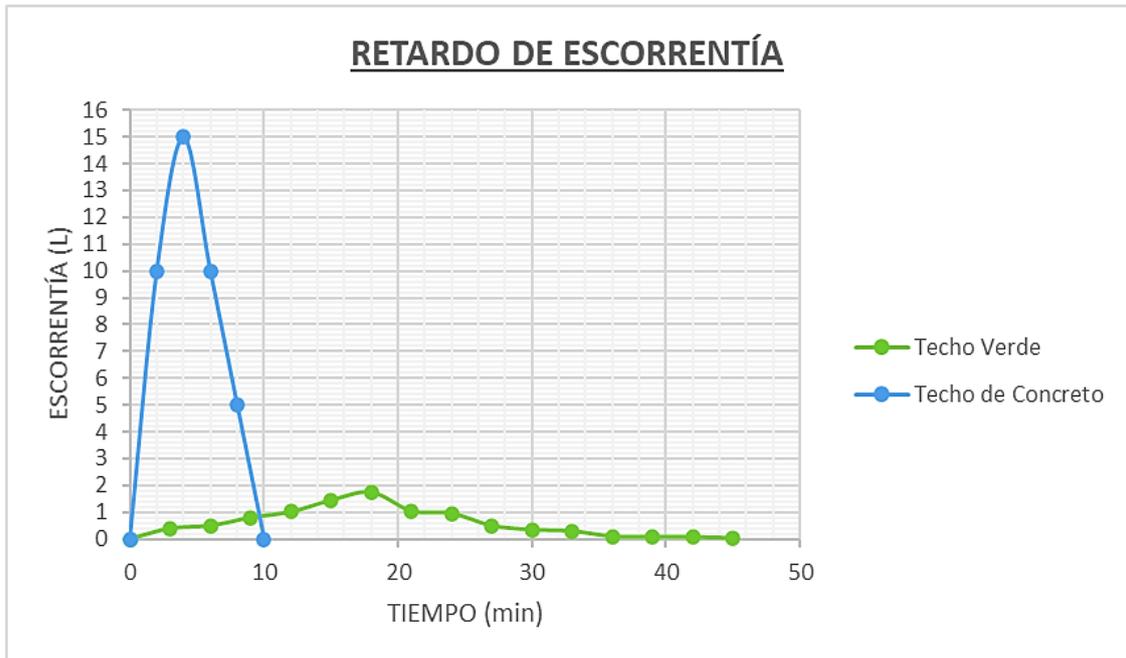


Figura 12. Comparación de tiempo de duración de la escorrentía entre un techo verde y un techo de concreto.

### 3.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Para el análisis estructural de las edificaciones previamente seleccionadas en nuestra muestra en donde se quiere instalar techos verdes, es necesario primeramente tener el peso por  $1m^2$  del techo verde modular extensivo e intensivo. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente.

**Tabla 5**

*Peso del prototipo de techo verdes extensivos*

<b>PESO DE LOS PROTOTIPOS POR M2</b>		
	<b>Material</b>	<b>Peso (kg/m2)</b>
<b>PROTOTIPO A</b>	Bandeja	22.5
	Geomembrana	0.7
	Geonet	0.5
	Geotextil	0.2
	Sustrato + planta	145.1
	Agua retenida	31.00
	<b>TOTAL</b>	<b>200</b>

La tabla N° 5, presenta el peso del techo verde extensivo por m2 hallado experimentalmente.

**Tabla 6**

*Peso del prototipo de techo verdes intensivos*

<b>PESO DE LOS PROTOTIPOS POR M2</b>		
	<b>Material</b>	<b>Peso (kg/m2)</b>
<b>PROTOTIPO B</b>	Bandeja	22.5
	Geomembrana	0.7
	Geonet	0.5
	Geotextil	0.2
	Sustrato + planta	267.7
	Agua retenida	35.00
	<b>TOTAL</b>	<b>326.6</b>

La tabla N° 6, muestra el peso del techo verde intensivo por metro cuadrado hallado experimentalmente.

Se procedió a realizar la identificación de las viviendas e identificarlas mediante números,

analizando sus características y el área que tienen para la instalación de techos verdes modulares, factor de espacio ocupado no aprovechable del techo que varía entre el 10-30% del área total del mismo. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Área de viviendas disponible para instalación de techos verdes modulares*

<b>VIVIENDA</b>	<b>SUPERFICIE DE TECHO</b>	<b>ESPACIO DISPONIBLE PARA TECHOS VERDES</b>	<b>% DE ÁREA PARA TECHOS VERDES</b>
1	101.6089	15.00 m2	14.8%

2	106.7 m <sup>2</sup>	15.00 m <sup>2</sup>	14.1%
3	120.6 m <sup>2</sup>	12.00 m <sup>2</sup>	10.0%
4	92.9 m <sup>2</sup>	24.00 m <sup>2</sup>	25.8%
5	95.2 m <sup>2</sup>	23.00 m <sup>2</sup>	24.2%
6	56.5 m <sup>2</sup>	17.00 m <sup>2</sup>	30.1%

La tabla N° 7, muestra el área disponible para la implementación de los techos verdes modulares en las viviendas seleccionadas para este estudio, ver (Anexo 16).

Para el estudio estructural se recolectaron o elaboraron los planos estructurales y arquitectónicos de cada edificación seleccionada, para proceder al modelado en ETABS y se validaron con las derivas establecidas por la norma E30 Diseño Sismorresistente. Se realizó el análisis con la carga de los techos verdes intensivos, los resultados de las derivas en X de cada edificación se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Derivas inelásticas dirección X, según el artículo 32 de la NTP E 0.30*

Piso	Altura	Deriva elástica	Deriva inelástica	Deriva Limite	Validación
<b>EDIFICACIÓN - 1</b>					
Piso 3	2.5	0.000704	0.00203456	0.007	Ok
Piso 2	2.5	0.000802	0.00231778	0.007	Ok
Piso 1	3.5	0.000622	0.00179758	0.007	OK
<b>EDIFICACIÓN - 2</b>					
Piso 3	2.5	0.001287	0.00371943	0.007	OK
Piso 2	2.5	0.002459	0.00710651	0.007	VERIFICAR
Piso 1	3.5	0.003618	0.01045602	0.007	VERIFICAR
<b>EDIFICACIÓN - 3</b>					
Piso 4	2.5	0.000546	0.00157794	0.007	OK
Piso 3	2.5	0.00111	0.0032079	0.007	OK
Piso 2	2.5	0.0021	0.006069	0.007	OK
Piso 1	3.5	0.008593	0.02483377	0.007	VERIFICAR
<b>EDIFICACIÓN - 4</b>					
Piso 3	2.5	0.001953	0.00564417	0.007	Ok
Piso 2	2.5	0.003357	0.00970173	0.007	Ok
Piso 1	3.5	0.003813	0.01101957	0.007	VERIFICAR
<b>EDIFICACIÓN - 5</b>					
Piso 3	2.5	0.000892	0.00257788	0.007	OK
Piso 2	2.5	0.001774	0.00512686	0.007	VERIFICAR

Piso 1	3.5	0.003082	0.00890698	0.007	VERIFICAR
--------	-----	----------	------------	-------	-----------

**EDIFICACIÓN - 6**

Piso 1	3.5	0.001163	0.00336107	0.007	OK
--------	-----	----------	------------	-------	----

La tabla N° 8, muestra las derivas en X de las viviendas seleccionadas del proyecto con la adición de techos verde modular intensivos, analizando si las derivas cumplen con el parámetro máximo establecido por la norma E-0.30 para derivas, para ver si los techos verdes modulares pueden ser instalados (Anexo-19).

Asimismo, teniendo en cuenta en lo establecido en la norma E30 Diseño Sismorresistente y mediante el modelado en ETABS, se obtuvo los siguientes resultados de derivas en Y para las 6 edificaciones seleccionadas con la adición de la carga de techos verdes intensivos, las cuales se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Derivas inelásticas dirección Y, según el artículo 32 de la NTP E-0.30*

<b>Piso</b>	<b>Altura</b>	<b>Deriva elástica</b>	<b>Deriva inelástica</b>	<b>Deriva Limite</b>	<b>Validación</b>
<b>EDIFICACIÓN - 1</b>					
Piso 3	2.5	0.000223	0.00064447	0.007	Ok
Piso 2	2.5	0.000237	0.00068493	0.007	Ok
Piso 1	3.5	0.00018	0.0005202	0.007	OK
<b>EDIFICACIÓN - 2</b>					
Piso 3	2.5	0.000978	0.00282642	0.007	OK
Piso 2	2.5	0.001958	0.00565862	0.007	OK
Piso 1	3.5	0.003893	0.01125077	0.007	VERIFICAR
<b>EDIFICACIÓN - 3</b>					
Piso 4	2.5	0.00074	0.0021386	0.007	OK
Piso 3	2.5	0.001532	0.00442748	0.007	OK
Piso 2	2.5	0.002788	0.00805732	0.007	VERIFICAR
Piso 1	3.5	0.014961	0.01323729	0.007	VERIFICAR
<b>EDIFICACIÓN - 4</b>					
Piso 3	2.5	0.000733	0.00211837	0.007	OK
Piso 2	2.5	0.001273	0.00367897	0.007	OK
Piso 1	3.5	0.001535	0.00443615	0.007	OK
<b>EDIFICACIÓN - 5</b>					
Piso 3	2.5	0.000632	0.00182648	0.007	OK
Piso 2	2.5	0.001141	0.00329749	0.007	OK
Piso 1	3.5	0.001212	0.00350268	0.007	OK
<b>EDIFICACIÓN - 6</b>					
Piso 1	3.5	0.000883	0.00255187	0.007	OK

La tabla N° 9, muestra las derivas en Y de las viviendas seleccionadas del proyecto con la adición de

techos verde modular intensivos, analizando si las derivas cumplen con el parámetro máximo establecido por la norma E-0.30 para derivas, para ver si los techos verdes modulares pueden ser instalados (Anexo 19).

También se realizó el análisis con la carga de los techos verdes extensivos, los resultados de las derivas en X de cada edificación se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Derivas inelásticas dirección X, según el artículo 32 de la NTP E 0.30*

<b>Piso</b>	<b>Altura</b>	<b>Deriva elástica</b>	<b>Deriva inelástica</b>	<b>Deriva Limite</b>	<b>Validación</b>
<b>EDIFICACIÓN - 1</b>					
Piso 3	2.5	0.000218	0.00063002	0.007	Ok
Piso 2	2.5	0.000233	0.00067337	0.007	Ok
Piso 1	3.5	0.000178	0.00051442	0.007	OK
<b>EDIFICACIÓN - 2</b>					
Piso 3	2.5	0.001241	0.00358649	0.007	OK
Piso 2	2.5	0.002419	0.00499091	0.007	OK
Piso 1	3.5	0.00359	0.0610375	0.007	OK
<b>EDIFICACIÓN - 3</b>					
Piso 4	2.5	0.000538	0.00155482	0.007	OK
Piso 3	2.5	0.001101	0.00318189	0.007	OK
Piso 2	2.5	0.002089	0.00603721	0.007	OK
Piso 1	3.5	0.005553	0.00691817	0.007	OK
<b>EDIFICACIÓN - 4</b>					
Piso 3	2.5	0.001751	0.0017109	0.007	Ok
Piso 2	2.5	0.003143	0.00506039	0.007	Ok
Piso 1	3.5	0.00363	0.00608327	0.007	Ok
<b>EDIFICACIÓN - 5</b>					
Piso 3	2.5	0.000841	0.00243049	0.007	OK
Piso 2	2.5	0.001714	0.00495346	0.007	OK
Piso 1	3.5	0.003001	0.0067289	0.007	OK

<b>EDIFICACIÓN - 6</b>					
Piso 1	3.5	0.001041	0.0030084	0.007	OK

La tabla N° 10, muestra las derivas en X de las viviendas seleccionadas del proyecto con la adición de techos verde modular extensivos (200 Kg/m<sup>2</sup>), analizando si las derivas cumplen con el parámetro máximo establecido por la norma E-0.30 para derivas, para ver si estos techos verdes pueden ser instalados (Anexo-18).

Asimismo, teniendo en cuenta en lo establecido en la norma E30 Diseño Sismorresistente y mediante el modelado en ETABS, se obtuvo los siguientes resultados de derivas en Y para las 6 edificaciones seleccionadas con la adición de la carga de techos verdes intensivos, las cuales se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11**

<b>Piso</b>	<b>Altura</b>	<b>Deriva elástica</b>	<b>Deriva inelástica</b>	<b>Deriva Limite</b>	<b>Validación</b>
<b>EDIFICACIÓN - 1</b>					
Piso 3	2.5	0.000204	0.000590	0.007	Ok
Piso 2	2.5	0.000221	0.000639	0.007	Ok
Piso 1	3.5	0.000170	0.000491	0.007	OK
<b>EDIFICACIÓN - 2</b>					
Piso 3	2.5	0.000964	0.002786	0.007	OK
Piso 2	2.5	0.001957	0.005656	0.007	OK
Piso 1	3.5	0.003902	0.061128	0.007	OK
<b>EDIFICACIÓN - 3</b>					
Piso 4	2.5	0.000738	0.00213282	0.007	OK
Piso 3	2.5	0.001534	0.00443326	0.007	OK
Piso 2	2.5	0.002797	0.00508333	0.007	OK
Piso 1	3.5	0.004996	0.006333844	0.007	OK
<b>EDIFICACIÓN - 4</b>					
Piso 3	2.5	0.000673	0.00194497	0.007	Ok
Piso 2	2.5	0.001212	0.00350268	0.007	Ok
Piso 1	3.5	0.00148	0.0042772	0.007	Ok
<b>EDIFICACIÓN - 5</b>					

Piso 3	2.5	0.000592	0.00171088	0.007	OK
Piso 2	2.5	0.001105	0.00319345	0.007	OK
Piso 1	3.5	0.001186	0.00342754	0.007	OK
<b>EDIFICACIÓN - 6</b>					
Piso 1	3.5	0.000798	0.00230622	0.007	OK

*Derivas inelásticas dirección Y, según el artículo 32 de la NTP E-0.30*

La tabla N° 11, muestra las derivas en Y de las viviendas seleccionadas del proyecto con la adición de techos verde modular extensivos (200 Kg/m<sup>2</sup>), analizando si las derivas cumplen con el parámetro máximo establecido por la norma E-0.30 para derivas, para ver si estos techos verdes pueden ser instalados (Anexo-18).

### 3.3 ANÁLISIS DE COSTOS

Se realizó en análisis de costos unitarios (APU) por metro cuadro de techo verde modular: extensivo e intensivo con la ayuda del programa S10. Para posteriormente ver el gasto total que puede generar la instalación de techos verdes dependiendo de la cantidad que se puedan instalar en cada edificación, los resultados del costo unitario de cada tipo de techo verde se muestran en la Tabla 12 y Tabla 13.

**Tabla 12**

<b>Partida 01.01.01</b>		<b>CONSTRUCCIÓN DE MÓDULO DE TECHO VERDE EXTENSIVO</b>				
<b>Rend.</b>	m2/DIA	MO. 2.0000	EQ. 2.0000	Costo unitario directo por: m2		<b>S/. 441.4</b>
<b>Descripción Recurso</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
						<b>Parcial</b>

<b>Mano de Obra</b>						
PEÓN	hh	0.5000	2.0000	18.50		37.00
					<b>37.00</b>	
<b>Materiales</b>						
SOPORTE Y BANDEJA METÁLICA 1 x 1m	und		1.0000	350.00		350.00
GEOMEMBRANA E=1.05 mm LISA NEGRA	m2		1.0000	18.00		18.00
GEOTEXTIL PARA DRENAJE E = 1.00 mm	m2		1.0000	8.00		8.00
GEONET E=6 mm	m2		1.0000	11.00		11.00
TIERRA NATURAL	m3		0.1500	35.00		5.25
SOBRE DE SEMILLAS DE LECHUGA	und		1.0000	2.00		2.00
TUBERÍA PVC 1/2" x 2.5 m	m		1.0000	7.50		7.50
CODO CPVC DE 1/2" x 90°	und		1.0000	1.50		1.50
PEGAMENTO CPVC DE 100 ml	und		0.0014	4.00		0.01
					<b>403.26</b>	
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	37.00		1.11
					<b>1.11</b>	

---

*Análisis de precios unitarios para los prototipos de techos verdes extensivos- 1m<sup>2</sup>.*

La tabla N° 12, muestra el análisis de precios unitarios (APU) del proyecto para un techo verde modular extensivo (prototipo- A), el que tiene un costo equivalente a S/. 441.4 por m<sup>2</sup>.

### **Tabla 13**

*Análisis de precios unitarios para los prototipos de techos verdes intensivos-1m<sup>2</sup>*

La tabla N° 13, muestra el análisis de precios unitarios (APU) del proyecto para un techo verde modular intensivo (prototipo - B), el que tiene un costo equivalente a S/. 477.6 por m<sup>2</sup>.

<b>Partida 01.01.02</b>		<b>CONSTRUCCIÓN DE MÓDULO DE TECHO VERDE INTENSIVO</b>						
<b>Rend.</b>	m2/DIA	MO. 2.0000	EQ. 2.0000	Costo unitario directo por: m2			<b>S/. 477.6</b>	
	<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	<b>Parcial</b>	
	<b>Mano de Obra</b>							
	PEÓN	hh	0.5000	2.0000	18.50		37.00	
						<b>37.00</b>		
	<b>Materiales</b>							
	SOPORTE Y BANDEJA METÁLICA 1 x 1 m	und		1.0000	380.00		380.00	
	GEOMEMBRANA E=1.05 mm LISA NEGRA	m2		1.0000	18.00		18.00	
	GEOTEXTIL PARA DRENAJE E = 1.00 mm	m2		1.0000	8.00		8.00	
	GEONET E=6 mm	m2		1.0000	11.00		11.00	
	TIERRA NATURAL	m3		0.3000	35.00		10.50	
	SOBRE DE SEMILLAS DE LECHUGA	und		1.0000	3.00		3.00	
	TUBERÍA PVC 1/2 x 2.5 m	m		1.0000	7.50		7.50	
	CODO CPVC DE 1/2" x 90°	und		1.0000	1.50		1.50	
	PEGAMENTO CPVC DE 100 ml	und		0.0014	4.00		0.01	
						<b>439.51</b>		
	<b>Equipos</b>							
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	37.00		1.11	
						<b>1.11</b>		

Se evaluó la contribución económica que cada techo verde modular puede tener, mediante el ingreso que puede obtener por la venta de las hortalizas cultivadas en cada módulo de m2 según el tipo de hortalizas con las que se trabajó en esta investigación. El ingreso que puede generar cada una se muestra en la Tabla 14 y Tabla 15.

**Tabla 14**

*Contribución económica de los módulos de techos verdes por m<sup>2</sup> sembrados con lechuga.*

<b>Producto del Techo Verde</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cant. Cosechada por m2 - Módulo de T. V</b>	<b>Precio (s/.)</b>	<b>Ingreso total (s/.)</b>	<b>Tiempo de producción</b>
Lechuga	Und.	25	1.00	25	2 meses
<b>TOTAL</b>				<b>S/ 25.00</b>	

La tabla N° 14, muestra el análisis de los ingresos obtenidos en 2 meses por cada techo verde modular de 1m<sup>2</sup> instalado en una vivienda, dando un ingreso total de 25 soles.

**Tabla 15***Contribución económica de los módulos de techos verdes por m<sup>2</sup> sembrados con rabanito*

<b>Producto del Techo Verde</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cant. Cosechada por m<sup>2</sup> - Módulo de T. V</b>	<b>Precio (s/.)</b>	<b>Ingreso total (s/.)</b>	<b>Tiempo de producción</b>
Rabanito	Atado	6	3.00	18	1 mes y medio
<b>TOTAL</b>				<b>S/ 18.00</b>	

La tabla N° 15, muestra el análisis de los ingresos obtenidos en 1 mes y medio por cada techo verde modular de 1m<sup>2</sup> instalado en una vivienda, dando un ingreso total de 18 soles.

Posteriormente se realizó un análisis a escala de cuanto ingreso podría tener cada edificación con la cantidad mínima de techos verdes que se pueden instalar 12 unidades, dando los resultados mostrados en la Tabla 16.

**Tabla 16***Contribución económica mínima de los módulos de techos verdes.*

<b>Producto del Techo Verde</b>	<b>Unidad / medida</b>	<b>Cant. Cosechada - Por Módulo de 1m<sup>2</sup> T. V</b>	<b>Cant. Mínima Cosechada - Vivienda</b>	<b>Precio (s/.)</b>	<b>Ingreso total (s/.)</b>	<b>Tiempo de producción</b>
Lechuga	Und.	25	150	1.00	150	2 meses
Rabanito	Atado	6	36	3.00	108	1 mes y medio
<b>TOTAL</b>			<b>186</b>		<b>S/ 258.00</b>	

La tabla N° 16, muestra el análisis de los ingresos obtenidos por la cantidad mínima de techos verdes modulares (12) instalados en una vivienda, estos pueden variar si el área disponible para el proyecto es mayor.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La investigación, tuvo como base la siguiente hipótesis: la instalación de techos verdes mejora significativamente el drenaje pluvial en el Jr. Chanchamayo cuadra 14 – Cajamarca; y plantea como objetivo general analizar la viabilidad de la instalación de techos verdes para mejorar el drenaje pluvial en esta zona. Tras la ejecución de la investigación y a partir del análisis de resultados esta investigación corrobora que la hipótesis planteada anteriormente es verídica, y se procede a la contrastación de estos resultados obtenidos acorde a los objetivos planteados en este estudio con los antecedentes que existen con respecto a este tema de investigación.

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos con relación al primer objetivo que es identificar del porcentaje de disminución de volúmenes de escorrentía tras la instalación de techos verdes, se puede afirmar que estos si reducen los volúmenes de escorrentía pluvial, en un porcentaje que puede variar entre el 40% -87% dependiendo del tipo de techo verde a utilizar y del periodo de antecedente seco. Este resultado no guarda estrecha relación con un estudio realizado recientemente en la ciudad de Cajamarca por Alvarado & Jara (2020) en donde se indica que el porcentaje de retención para un techo verde extensivo hecho con material convencional es solo de 8.03%, este resultado podría variar con el presentado en esta investigación porque el espesor del sustrato utilizados fue solo de 8 cm de espesor, sin cobertura vegetal y son realizados en menos de 1m<sup>2</sup>.

Sin embargo, existen muchas investigaciones que avalan nuestros resultados, tal es el caso de Ahiablame et al. (2012) que en su investigación “Efectividad de prácticas de desarrollo de bajo impacto: revisión de literatura y sugerencias para investigaciones futuras” concluye que la retención promedio de lluvia de techos verdes varía entre el 23%

y 100% según el tipo de techo verde y la localización de estos; del mismo modo está dentro del rango de resultados que obtienen Carter & Rasmussen (2006) en su investigación “Comportamiento hidrológico de techos con vegetación - octubre” en donde se determina que las cubiertas verdes pueden retener entre 39% a un 100% de los caudales de lluvia, y esto puede variar dependiendo de la intensidad, la duración de la lluvia y los antecedentes secos. Estas estadísticas dejan a relucir que los techos verdes tienen una capacidad muy buena de retención en la mayoría de condiciones y que son una ventaja importante al momento de reducir los grandes volúmenes de agua de lluvia que llegan a los drenajes pluviales al momento de una precipitación, evitando así que puedan colapsarse.

Con respecto a los porcentajes de retención de agua de lluvia dependiendo de los dos tipos de techos verdes analizados: extensivo (15cm) e intensivo (30cm) podemos dar como resultado que los techos verdes extensivos pueden retener hasta 77% de agua de lluvia cuando están secos, es decir no habido un evento anterior de lluvia; y pueden retener hasta un 40% de agua de lluvia cuando el techo verde está parcialmente saturado de agua, es decir cuando hay lluvias con pocas horas de diferencia. Estos resultados guardan relación con lo indicado por Castaño (2014) en su tesis “Techos verdes y sistemas de procesamiento de agua de lluvia” en donde los porcentajes de retención de agua de lluvia varía entre un 49.89% - 77.82% en un techo verde extensivo de 15 cm. Estos resultados nos indican que los techos verdes extensivos son una muy buena alternativa para poder instalarlas debido a que tiene una buena capacidad de retención y un bajo peso de solo  $200 \text{ kg/m}^2$ .

Por otra parte, los techos intensivos pueden retener hasta 87% de agua de lluvia cuando están sin saturar y hasta un 43% de agua de lluvia cuando el techo verde está parcialmente saturado de agua. Encontramos resultados de retención similares en trabajo

realizado por Razzaghmanesh & Beecham (2014) en su investigación “El comportamiento hidrológico de los techos verdes extensivos e intensivos en un clima seco” obtuvo un porcentaje de retención de 88.6% para un techo de espesor de 22cm en la ciudad de Australia; también podemos ver similitud con nuestros resultados en la indagación hecha por Rosatto et al. (2013) en su trabajo “Eficiencia en la retención del agua de lluvia de cubiertas vegetadas tipo extensivo e intensivo “en donde para un sustrato de 30cm se obtuvo un porcentaje de retención del 70 % cuando el sustrato está seco y entre 40% y 50% cuando hay saturación debido a lluvias anteriores. Estos resultados nos indican que los techos verdes intensivos tienen mejor retención que los techos verdes extensivos y esto se debe básicamente a la altura de sustrato que tienen (30 cm) dejando claro que sí se puede instalar este tipo de cubierta sería mucho más beneficioso para ayudar con los problemas de drenaje pluvial, sin embargo, también es necesario tener en cuenta que si bien retiene un mayor porcentaje de agua también tienen un mayor peso en este caso de  $326.6 \text{ kg/m}^2$ ..

Los techos verdes en estado saturado bajan su capacidad de retención en casi el 50% según los resultados obtenidos mediante los ensayos realizados en esta investigación y esto se debe a que fueron medidos con pocas horas de diferencia entre una simulación de lluvia y otra, por lo que el sustrato aún se encontraba humedecido. Este hecho se ha visto reflejado en los resultados de otros ensayos como el realizado por el autor, Burszta (2012) quien en su artículo de investigación “Análisis de retención de tormentas en techos verdes” realizado en 4 sitios experimentales concluye que, entre más cortos sean los períodos entre un fenómeno de precipitación y otro la capacidad de retención de los techos verdes baja, con un promedio de retención de escorrentía de solo 3-5 h después de iniciada la lluvia. Esto se debe a la saturación de agua que puede tener ciertas partes del techo

verde debido a precipitaciones anteriores, ya que no permite un mayor rango de horas de evapotranspiración generando que haya así un mayor volumen de filtración de agua.

Los resultados presentados en los párrafos anteriores nos indican que los techos verdes son una alternativa factible para evitar la sobrecarga de las redes de drenaje debido al alto porcentaje de retención que tiene aun estando parcialmente saturados, evitando así inundaciones en áreas urbanas. También nos permiten identificar el espesor de sustrato como la variable más relevante al momento de estudiar el desempeño de los techos verdes en cuanto a cantidad de retención de agua.

A través de esta investigación también se pudo determinar que otro beneficio importante de los techos verdes es el poder disminuir y retrasar el flujo pico desagotado al momento de un evento de precipitación, los datos obtenidos mediante los ensayos de retención de escorrentía realizados indican que el tiempo de desagote total fue de entre 55-60 min, para lluvia de 40 mm que duró 7 min. Según Castaño (2014) en su estudio de techos verdes afirma que “la reducción en el pico de flujo desagotado fue del 54,52% respecto del pico de intensidad de la precipitación en el caso de los módulos de 5° de pendiente” (p.83). estos resultados se dieron en un ensayo de simulación de lluvia de 15mm. Esto importante ya que en un techo de concreto el escurrimiento de la escorrentía por lo general es inmediato, mientras que con los techos verdes el agua total de la precipitación no llega al sistema de drenaje pluvial al mismo momento, sino hasta que el techo verde se encuentra totalmente saturado, esto se debe a que este sistema tiene varios retardos como que el agua es atrapada por la vegetación y toma tiempo que puede abarcar todo el sustrato, además de tener que pasar por las raíces y el sistema de red de drenaje por el que está compuesto.

El segundo objetivo de este estudio fue analizar cómo afectaría la instalación de un techo a la estabilidad de las edificaciones seleccionadas en nuestra muestra, los resultados obtenidos mediante el modelamiento en ETABS nos permiten determinar que, si se genera un cambio en la estabilidad estructural ya que implican una carga muerta adicional a esta, en los techos extensivos de 200 Kg/m<sup>2</sup> y en los intensivos de 326.6 Kg/m<sup>2</sup>. Después de encontrar las derivas máximas tanto en X como en Y para las 6 edificaciones seleccionadas como se muestra en la Tabla 9 y Tabla 10 para edificaciones en donde se pretende instalar techos verdes intensivos y las Tablas 11 y Tabla 12 en donde se muestran los resultados de las edificaciones con cargas de techos extensivos. Se concluye que en la zona de estudio solo se podría instalar el tipo de techo verde modular extensivo, debido a que con este si se está cumpliendo con lo establecido en la norma E 030 que establece como deriva limita un valor de 0.007 para estructuras de concreto armado, permitiendo así que este proyecto se pueda instalar sin problemas estructurales que puedan generar agrietamientos, o deformaciones en las edificaciones.

Los resultados encontrados nos permiten determinar que para viviendas ya construidas es mejor la instalación de techos verdes extensivos debido a que el peso adicional es menor lo que permite que este tipo de techos sea más adaptable a estructuras no diseñadas inicialmente para que se le adicione estos tipos de cargas. Esta conclusión guarda relación con la investigación realizada por Muñoz (2021) en donde se realiza un análisis de factibilidad y diseño de techos verdes en una vivienda ya existente en Tarta Grande, en donde se concluyó que es viable la instalación de techos verdes extensivos, debido a que agrega una carga relativamente baja permitiendo que la edificación cumpla con los límites de derivas permitidos en la norma y con los momentos máximo.

No existen muchas investigaciones que analicen la viabilidad estructural de una edificación existente al instalar techos verdes, por lo que a pesar de tener conocimiento

de que los techos verdes extensivos casi siempre son adecuados, es necesario que se tenga en cuenta siempre realizar un análisis estructural previo para evitar asentamientos o agrietamientos que comprometan a la estructura, ya que muchas de las edificaciones en nuestro en nuestra ciudad e incluso nuestro país son construidos sin que se cumplan los criterios establecidos por el RNE.

Con respecto a nuestro tercer objetivo específico se determinó el costo de instalación de un sistema de techo verde modular por  $m^2$ , dando como resultado un costo unitario de S/.441.50 para techos verdes intensivos y S/. 477.60 para techos verdes extensivos al año 2022, estos resultados guardan correlación con los costos obtenidos por Alvarado y Jara (2020) en su investigación en donde se obtuvo como costo directo para un techo verde extensivo con materiales tradicionales S/.460.00. Sin embargo, estos resultados varían con lo expuesto por Salas (2017) en donde su costo directo por techo verde está indicado en S/.80.00 por  $m^2$ ., es necesario aclarar que esta diferencia se basa en que los costos obtenidos en esta investigación son sólo de las capas que forman el techo verdes y no de la estructura modular de techos verdes completa como ha sido realizado en nuestro trabajo, además de que al ser un análisis de costos realizados a la fecha del año 2017 estos se han ido modificando.

Ante lo expuesto anteriormente podemos indicar que el costo de los techos verdes modulares son relativamente más altos que un techo verde instalado directamente sobre el área destinada para azotea de una edificación, siendo que este puede costar actualmente alrededor de S/.322.00 (CYPE Ingenieros, S.A., 2022) , la diferencia en los costos es debida a los soportes metálicos y bandejas de acero que se utilizó en los prototipos realizados en esta investigación , por lo que se recomienda que se estudie la posibilidad de reemplazar los soportes metálicos por unos de madera que puedan ayudar con la

disminución del costo unitario del techo verde modular, cabe recordar que en el caso de estructuras ya existentes si se desea implementar techos verdes es mucho mejor la instalación de techos verde modulares puesto que permiten la creación de espacios verdes en cualquier entorno urbano de forma sencilla, dejando decidir al propietario en que áreas desea instalar este sistema y su instalación es mucho más rápida, no tan compleja y puede realizarse tanto por particulares como por profesionales.

Podemos concluir que el costo inicial de la instalación de un techo verde de cualquier tipo es más alto que el de los techos tradicionales, sin embargo, es necesario recalcar que en contraste a este incremento económico existen muchos beneficios ambientales, urbanos y también económicos que se dan a largo plazo.

Dentro de los beneficios económicos que podemos tener está el uso de los techos verdes como jardines de cultivo de hortalizas. Según los resultados obtenidos con nuestra investigación un techo verde modular de  $1m^2$ , puede dar ingresos por medio de la venta de hortalizas como la lechuga de S/25.00 cada 60 días, y de hortalizas como el rábano puede generar un ingreso de S/. 18.00 en un mes y medio. Haciendo una simulación de las viviendas estudiadas y el área disponible para este proyecto cada una puede tener como mínimo 12 módulos de techos verdes lo que daría un ingreso de S/.258.000 cada dos meses. Si bien estos costos no cubren en un inicio el costo total de instalación de un sistema de techos verdes, si lo cubre a largo plazo y al ser este un sistema duradero se podría concluir que si es un sistema rentable, esto coincide con lo indicado Duarte y Moreno (2014) en su investigación de la implementación de un techo de clasificación primario tipo huerta, en donde establece como resultado que la producción de hortalizas ayuda a la economía de la población al ser utilizado para el autoconsumo en principio o para su posterior venta reduciendo con ello los gastos de la canasta familiar.

Lo expuesto a lo largo de este trabajo nos permite concluir que lo planteado en nuestra hipótesis es correcto y si es viable la instalación de techos verdes para mejorar mínimo en un 40% el drenaje pluvial en el Jr. Chanchamayo cuadra 14 – Cajamarca. Esto está fundamentado básicamente en el cumplimiento de 3 componentes que ya analizamos párrafos atrás: si cumple con la viabilidad estructural, siempre que se instalen techos verdes extensivos; es viable económicamente a largo plazo; y lo más importante es viable hidráulicamente ya que los porcentajes de retención de escorrentía son muy buenos variando de 40-77% dependiendo de la intensidad de lluvia y los antecedentes de periodos secos, permitiendo el retraso de la escorrentía directa y evitando así picos de flujo en el drenaje urbano que conlleven a que este rebalse y genere inundaciones.

Los techos verdes vienen siendo una alternativa viable en muchos lugares del mundo como lo demuestran los resultados obtenidos por autores como Rosatto et al. (2013) en donde se indica que las cubiertas vegetadas son una alternativa viable para la ciudad de Buenos Aires permitiendo la reducción del escurrimiento superficial y menorando la generación caudales pico, tal como los resultados obtenidos en nuestra investigación; otro estudio que evidencia que este sistema es viable es el realizado por Kok, K et al. (2016) en

Malasia donde se redujo hasta un 26% escorrentía pluvial en relación con el techo de tejas de concreto para lluvia intensa, por último, Contreras y Villegas (2016) tras una simulación realizada mediante un software para la ciudad de Usaquén – Colombia se concluyó que los techos son una solución eficiente a problemas de inundación por empozamiento.

Podemos terminar concluyendo entonces que los techos verdes si son una alternativa viable para apoyar a los sistemas de drenaje en la zona de estudio, si estos son

de tipo extensivo ya que no afectan la estabilidad estructural y su porcentaje de retención es bueno. Por otro lado, podemos concluir también que dependiendo de la evaluación estructural se podrían instalar en varias zonas de la ciudad de Cajamarca, puesto que si mejora significativamente la capacidad de evacuación del drenaje pluvial evitando su sobrecarga.

Las implicancias de la investigación desde el punto de vista práctico, es que esta permite abordar una problemática latente en muchas partes del mundo en épocas de lluvias, el desborde de los drenajes pluviales, generando así inundaciones urbanas planteando como alternativa la instalación de techos verde en ciertas viviendas de la zona. Las conclusiones de esta investigación permiten corroborar que este sistema de techos verdes si es una solución factible para mejorar esta problemática y conduce a que muchas más personas, entidades públicas o empresas privadas puedan tener mayor predisposición a tomar la decisión de poner en puesta un proyecto como este mejorando así no solo el drenaje pluvial en diferentes lugares, sino también la calidad de vida de muchas personas. A su vez, este trabajo de investigación tiene implicancias teóricas que nos permiten formular preguntas para nuevas investigaciones como: ¿en cuánto varían los porcentajes de retención de escorrentía a mayor pendiente?, ¿existen diferencia entre los porcentajes de retención de escorrentía de un techo verde directamente puesto sobre el área del techo de la edificación y uno modular?, ¿qué otras zonas de la ciudad de Cajamarca que sufren del problema de inundaciones puede implementar este sistema de techos?, además de que abre puertas a investigaciones que no tiene que ver directamente con la instalación de techos verdes, cómo analizar o diseñar una propuestas de sistemas de reutilización de agua se pueden implementar en las edificaciones para el agua filtrada de techos verdes, ayudando así que el porcentaje de escorrentía menore aún más.

El alcance de esta investigación tuvo limitaciones en etapas como la metodología y la ejecución. En la primera la selección de muestra, ya que se vio restringida a sólo 1/4 de las edificaciones de nuestra población total, esto debido a que muchos propietarios de las edificaciones de la zona de estudio no tienen conocimiento acerca de esta nueva tecnología de techos verdes y los beneficios que estas pueden traer, por lo que tienen desconfianza para dar acceso a sus viviendas; así también un aspecto limitante para la muestra fue el área disponible en sus techos, ya que muchas de estas edificaciones al no ser diseñadas para la instalación de un proyecto como el que estamos planteando tienen estas áreas ya definidas para otras actividades o están ocupadas. En cuanto a la etapa de ejecución, se tuvo un poco de demora en el proceso de los modelados debido a que la mitad de las edificaciones seleccionadas para la muestra no contaban con sus planos de estructuras y arquitectura o no estaban actualizados, puesto que la construcción fue ejecutada por los mismos propietarios o se hicieron modificaciones que no estaban contempladas en estos, por lo que se tuvo que realizar los planos correspondientes.

Finalmente, aunque el presente estudio se basa en muestra de participantes limitada a 1/4 de la población total, los resultados presentados nos permiten determinar que los techos verdes instalados en las viviendas seleccionadas si van a mejorar significativamente el drenaje pluvial de la cuadra 14 del Jr. Chanchamayo – Cajamarca, debido al alto porcentaje de retención de agua y el retardo de la escorrentía que pueden tener cada módulo instalado en las edificaciones.

## REFERENCIAS

- Ahiablame, L. M., Engel, B. A., & Chaubey, I. (2012). Effectiveness of Low Impact Development Practices: Literature Review and Suggestions for Future Research. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(7), 4253-4273. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1189-2>
- Alvarado, J., & Jara, M. (2020). *Estudio comparativo de materiales convencionales y de origen natural en la construcción de prototipos para techos verdes extensivos en la ciudad de Cajamarca, 2020* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- Baryła, A. M. (2019). Role of drainage layer on green roofs in limiting the runoff of rainwater from urbanized areas. *Journal of Water and Land Development*, 41(1), 12-18. <https://doi.org/10.2478/jwld-2019-0022>
- Berndtsson, J. C., Bengtsson, L., & Jinno, K. (2009). Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Ecological Engineering*, 35(3), 369-380. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.09.020>
- Burszta, E. (2012). Analysi Of Stormwater Retention On Green Roofs. *Archives of EnvironmentalProtection*, 38(4), 3-13. doi: 10.2478/v10265-012-0035-3
- Burszta-Adamiak, E., Stańczyk, J., & Łomotowski, J. (2019). Hydrological performance of green roofs in the context of the meteorological factors during the 5-year monitoring period. *Water and Environment Journal*, 33(1), 144-154. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/wej.12385>
- Carter, T. L., & Rasmussen, T. C. (2006). Hydrologic Behavior of Vegetated Roofs1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 42(5), 1261-1274. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb05299.x>
- Castaño, P. (2014). *Techos verdes y sistemas de procesamiento de agua de lluvia* (Tesis de pregrado). Univerisdad Argentina de la Empresa, Buenos Aires:Argentina.
- Chávez Vargas, Giovana. (2014). *Estudio de la Gestión Ambiental para la prevención de impactos y monitoreo de las obras de construcción de Lima Metropolitana* (Tesis grado

- de Magíster). Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5629/CHAVEZ\\_VAR\\_GAS\\_GIOVANNA\\_ESTUDIO\\_PREVENCION.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5629/CHAVEZ_VAR_GAS_GIOVANNA_ESTUDIO_PREVENCION.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Contreras Bejarano, O., & Villegas, P. (2016). *Diseño de prototipo de techo verde para captación de agua pluvial: Caso de estudio Usaquén Colombia*. XXVII Congreso Latinoamericano De Hidráulica, Lima, Perú.
- CYPE Ingenieros, S.A. (2022). *Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción*. Recuperado de [http://www.peru.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Techos/Planas/No\\_transitables\\_\\_no\\_\\_ventiladas/QAD050\\_Techo\\_verde\\_\\_sistema\\_Urbanscape\\_\\_KN.html](http://www.peru.generadordeprecios.info/obra_nueva/Techos/Planas/No_transitables__no__ventiladas/QAD050_Techo_verde__sistema_Urbanscape__KN.html)
- DeNardo, J., Jarrett, A., Manbeck, J., & Beattie, D. (2005). *Mitigación de aguas pluviales y reducción de la temperatura superficial por techos verdes*. [https://www.google.com/search?q=DeNardo%2C+J.%2C+Jarrett%2C+A.%2C+Manbeck%2C+J.%2C+Beattie%2C+D.%2C+%26+Berghage%2C+R.+\(2005\).+Mitigaci%C3%B3n+de+aguas+pluviales+y+reducci%C3%B3n+de+la+temperatura+superficial+por+techos+verdes.+Transacciones+de+la+ASABE%2C+48%2C+1491++1496.&oq=DeNardo%2C+J.%2C+Jarrett%2C+A.%2C+Manbeck%2C+J.%2C+Beattie%2C+D.%2C+%26+Berghage%2C+R.+\(2005\).+Mitigaci%C3%B3n+de+aguas+pluviales+y+reducci%C3%B3n+de+la+temperatura+superficial+por+techos+verdes.+Transacciones+de+la+ASABE%2C+48%2C+1491++1496.&aqs=chrome..69i57.671j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=DeNardo%2C+J.%2C+Jarrett%2C+A.%2C+Manbeck%2C+J.%2C+Beattie%2C+D.%2C+%26+Berghage%2C+R.+(2005).+Mitigaci%C3%B3n+de+aguas+pluviales+y+reducci%C3%B3n+de+la+temperatura+superficial+por+techos+verdes.+Transacciones+de+la+ASABE%2C+48%2C+1491++1496.&oq=DeNardo%2C+J.%2C+Jarrett%2C+A.%2C+Manbeck%2C+J.%2C+Beattie%2C+D.%2C+%26+Berghage%2C+R.+(2005).+Mitigaci%C3%B3n+de+aguas+pluviales+y+reducci%C3%B3n+de+la+temperatura+superficial+por+techos+verdes.+Transacciones+de+la+ASABE%2C+48%2C+1491++1496.&aqs=chrome..69i57.671j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- Duarte, D., & Moreno, Á. (2014). *Techos verdes en viviendas de estrato 1: aplicado al barrio* (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C.
- Dunnett, N., Nagase, A., Booth, R., & Grime, P. (2008). Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments. *Urban Ecosystems*, 11(4), 385-398. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0064-9>
- Ferrans, P., Rey, C. V., Pérez, G., Rodríguez, J. P., & Díaz-Granados, M. (2018). Effect of Green

Roof Configuration and Hydrological Variables on Runoff Water Quantity and Quality  
*Water*, 10(7), 960. <https://doi.org/10.3390/w10070960>

- Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L., & Principi, P. (2010). Rendimiento relacionado con la energía y el agua de los techos verdes en el clima mediterráneo. *Building and Environment*, 45, 1890-1904. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132310000806>
- Getter, K. L., Rowe, D. B., & Andresen, J. A. (2007). Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecological Engineering*, 31(4), 225-231. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.06.004>
- Gutiérrez, R. A. I. (2008). Techos vivos extensivos: Una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia. *Alarife: Revista de arquitectura*, 16, 21.
- Hernández, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill Interamericana.
- INDECI. (2005). *Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Cajamarca* (p. 291) [PROYECTO INDECI – PNUD PER/02/051 CIUDADES SOSTENIBLES]. [http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios\\_CS/Region\\_cajamarca/cajamarca/cajamarca.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_cajamarca/cajamarca/cajamarca.pdf)
- INEI. (2018). *CENSOS 2017: Departamento De Cajamarca Cuenta Con 1 341 012 Habitantes*. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-194-2018-inei.pdf>
- Köhler, M., Schmidt, M., Grimme, F., Laar, M., Paiva, V., & Tavares, S. (2002). Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics – far beyond the aesthetics. *Environmental Management and Health*, 13, 382-391. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/09566160210439297>
- Kok, K, Hayder, G, Sidek, L, Chow, M, Abidin, M, & Basri, H. (2016). Evaluation of green roof performances for urban stormwater quantity and quality controls. *International Journal of River Basin Management*, 14. Recuperado de

<https://doi.org/10.1080/15715124.2015.1048456>

- Marchena, D. (2012). Techos verdes como sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) (*Tesis de Grado*). Pontificia Universidad Javeriana, Bogota, Colombia.
- Martínez, L. S. (2012). *Estrategias integradas para la gestión sostenible de aguas de lluvia en áreas metropolitanas*. 18.
- Merlo, V., & Soto, G. (2020). Tipos de Drenaje Usados en Ciudades Importantes a Nivel Nacional e Internacional: Una Revisión Sistemática (*Tesis de Pregrado*). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- Morales, J. A., Cristancho Santo, M. A., & Baquero Rodríguez, G. A. (2017). Tendencias en el diseño, construcción y operación de techos verdes para el mejoramiento de la calidad del agua lluvia. Estado del arte. *Ingeniería del agua*, 21(3), 179. Recuperado de <https://doi.org/10.4995/ia.2017.6939>.
- Muñoz, F. E. (2021). *Factibilidad y diseño de una vivienda usando techos verdes en el sector las Casitas, caserío Tartar Grande, Distrito los Baños Del Inca - Cajamarca, 2019* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- NORMA TÉCNICA E.030 [RNE]. Art.32. 7 de diciembre del 2018 (Perú).
- ONU. (2018). Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo. *Organización de las Naciones Unidas-Departamento de Asuntos Económicos y Sociales*. Recuperado de <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- Osorio Pineda, L. E. (2015). *Instalación de sistemas de techos verdes* [Other, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Palla, A., Gnecco, I., & Lanza, L. (2010). Hydrologic Restoration in the Urban Environment Using Green Roofs. *Water*, 2. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/w2020140>
- Pérez, G. (2015). *Experiencias en el monitoreo continuo de techos verdes modulares* (Tesis de Maestría en Ingeniería Civil). Bogota.

- Pole, K. (2009). Mixed methods designs: A review of strategies for blending quantitative and qualitative methodologies. *Mid-Western Educational Researcher*, 2(16),35-38.
- Razzaghmanesh, M., & Beecham, S. (2014). The hydrological behavior of extensive and intensive green roofs in a dry climate. *Science of The Total Environment*, 499, 284-296.
- Rodríguez, M. (2017). Propuesta de diseño de techo verde en azotea para vivienda en zona de expansión urbana en el Distrito de Nuevo Chimbote, 2017. *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/12237>
- Rosatto, H., Villalba, G., Rocca, C., Meyer, M., Bargiela, M., Hashimoto, P., . . . Caso, C. (2013). Eficiencia en la retención del agua de lluvia de cubiertas vegetadas de tipo "extensivo e"intensivo". *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias.Scielo*, 45(1). doi:ISSN 1853-8665 Recuperado de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652013000100015&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652013000100015&script=sci_arttext&tlng=en)
- Rowe, D. B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*, 159(8), 2100-2110. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.029>
- Salas, F. (2017). Propuesta de implementación del uso de techos verdes con geomembrana importada de Estados Unidos en el distrito de San Miguel, para cumplir con la meta 8 de biodiversidad de Aichi. *Universidad de San Martín de Porres – USMP*. <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/2856>
- SENAMHI. (2012). *Reparticion Probabilistica de Intensidad de Lluvias en el Valle de Cajamarca*. Dirección Regional SENAMHI - CAJAMARCA, Cajamarca. Recuperado de [e https://www.gob.pe/senamhi](https://www.gob.pe/senamhi)
- Soriano, L. (2012). Estrategias integradas para la gestión sostenible de aguas de lluvia en áreas metropolitanas. [CONAMA] - *Congreso Nacional del Medio Ambiente*, (pág. 18).
- Vásquez , O. (2013). *Evaluación de los efectos de tipos de sustrato y vegetación en el comportamiento de techos verdes y azules* (Tesis de grado).Universidad de Los Andes, Bogotá.