

Installation of green roofs and storm drainage in Cajamarca, 2022

Rayssa del Pilar, Cueva López¹, Rony Yaser, Culqui Bustamante², Yoner Jaime, Romero Cueva³, Violeta Zarela, Quevedo Porras⁴, Marlon Walter, Valderrama Puscan⁵

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00021737@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, N00021811@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, yoner.romero@upn.edu.pe

⁴Universidad Privada del Norte, Perú, violeta.quevedo@upn.edu.pe

⁵Universidad Privada del Norte, Perú, marlonvalderrama1103@hotmail.com

Abstract– Urban flooding caused by drainage networks overloaded by heavy rainfall is a recurring problem in our country. In this sense, this research work aims to analyze the feasibility of installing green roofs to improve storm drainage in Jr. Chanchamayo block 14 - Cajamarca, proposing as a viable solution to this problem the use of green roofs to retain a certain percentage of precipitated water and thus contribute to the reduction of peak flows in the drainage. The research has a scope of the descriptive exploratory type; used an intentional non-probabilistic sampling with a sample of six homes in the project area and four study units. The results made it possible to estimate a retention capacity of the tested prototype roofs of 40-77% for extensive green roofs and 43-87% for intensive roofs and it was determined that their installation in the study area is feasible, provided they are extensive modular green roofs, because the values of the maximum drifts do comply with being less than 0.007, the value established in the E-030 standard. A direct cost of S / 441.50 per m² was obtained, evidenced after an analysis that it is profitable in the long term.

Keywords– Green roofs, storm drainage, urban drainage, water retention.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.41>
ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

Instalación de techos verdes y drenaje pluvial en Cajamarca, 2022

Rayssa del Pilar Cueva López, Estudiante¹, Rony Yaser Culqui Bustamante, Estudiante², Yoner Jaime Romero Cueva, Doctor³, Violeta Zarela Quevedo Porras, Magister⁴, Marlon Walter Valderrama Puscan, Doctor⁵

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00021737@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, N00021811@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, yoner.romero@upn.edu.pe

⁴Universidad Privada del Norte, Perú, violeta.quevedo@upn.edu.pe

⁵Universidad Privada del Norte, Perú, marlonvalderrama1103@hotmail.com

Las inundaciones urbanas ocasionadas por redes de drenaje sobrecargadas por intensas precipitaciones son un problema recurrente en nuestro país. En tal sentido este trabajo de 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, planteando como solución viable a esta problemática el uso de cubiertas verdes para retener cierto porcentaje de agua precipitada y contribuir así en la reducción de caudales pico en los drenajes. La investigación tiene un alcance del tipo exploratorio descriptivo; utilizó un muestreo no probabilístico de tipo intencional con una muestra de 6 viviendas de la zona del proyecto y 4 unidades de estudio. Los resultados permitieron estimar una capacidad de retención de las cubiertas prototipo ensayadas de 40-77% para techos verdes extensivos y 43-87% para techos intensivos y se llegó a determinar que si es viable su instalación en la zona de estudio, siempre que sean techos verdes modulares extensivos, porque los valores de las derivas máximas si cumplen con ser menores de 0.007 valor establecido en la norma

E-030. Se obtuvo un costo directo de S/441.50 por m² evidenciándose tras un análisis que si es rentable a largo plazo.

Keywords-- Techos verdes, drenaje pluvial, drenaje urbano, retención de agua.

I. INTRODUCCIÓN

El acelerado desarrollo urbano que podemos ver produce una modificación del ciclo hidrológico, ya que como lo indica [1] 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 [2]. Su precipitación pluvial tiene tres periodos; lluvioso con un 55%, un intermedio de 36% y un periodo seco con 9% de la precipitación anual. 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 [3].

En respuesta a lo antes expuesto, actualmente alrededor del mundo se ve una mayor manifestación de propuestas de drenaje sostenible, que ayudan 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 [4]. 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 [5].

Una alternativa de construcción sostenible que se plantea 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, como lo indica Palla et al. [6].

Los techos verdes forman parte de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), 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 [7]. La capacidad de retención de agua que tiene un techo verde se puede calcular según [8] mediante simplificación de la ecuación de balance hídrico:

$$V_{Inf.} = V_{Prec.} - V_{Esco.} - V_{Evap.} \quad (1)$$

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 [9], por lo que el porcentaje de retención de agua lluvia se calcula a través de la ecuación:

$$\% \text{ Retención} = \left(\frac{V_{Lluvia} - V_{Infiltración}}{V_{Lluvia}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Los techos verdes se clasifican por la profundidad del sustrato en dos tipos: techos extensivos cuando el espesor del sustrato es máximo de 20 cm e intensivo cuando es de un espesor mayor a este [10]. La utilización de estas cubiertas produce beneficios como: retención de volúmenes de escorrentía que puede variar entre el 60 y el 85% de agua lluvia [11],[12],[13]; la regulación de la temperatura en las estructuras; la purificación del aire, 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 [14].

Por lo antes expuesto, la investigación plantea la siguiente pregunta: ¿De qué manera la instalación de techos verdes mejora el drenaje pluvial en Cajamarca en el año 2022?

Teniendo como propósito, analizar la viabilidad de la instalación de techos verdes para mejorar el drenaje pluvial en el Jr. Chanchamayo cuadra 14 – Cajamarca, asimismo, también identificar en que porcentaje disminuiría los volúmenes de escorrentía 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 mejora significativamente 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 [3].

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. Agregar que no se han realizado estudios de este tipo en esta zona lo que aporta conocimientos de interés al barrio de Chontapachca.

II. METODOLOGÍA

La investigación según su alcance es de tipo exploratorio descriptiva [15], 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.

Según su enfoque, la investigación es de tipo cuantitativa [16], y posee un diseño experimental, debido a que se realizará 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 podrá 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 se seleccionó 6 viviendas, 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 al tipo de techo verde analizado. Después de encontrar estos resultados, se realizará 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.

La Fig. 1 muestra una parte del plano de ubicación del proyecto, croquis de las 6 viviendas seleccionadas en la investigación.

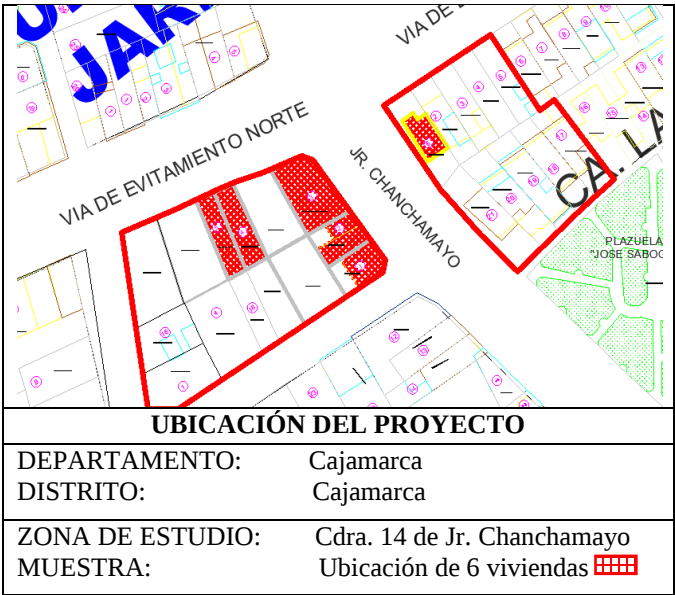


Fig. 1 Ubicación del proyecto.

Tomado de Plano Catastral de Cajamarca, 2019.

Como técnicas de recolección de datos se realizará una en primer lugar una investigación descriptiva, en donde estudiarán los tipos de techo verde, los espesores de sustrato, la pendiente y el tipo de vegetación para escoger que se usará en la edificación tomando en cuenta los parámetros estructurales; en segundo lugar se desarrollará la observación directa cuantitativa, se usa esta técnica para la obtención de datos de los prototipos de techos verdes; se da de modo sistemático, en base a protocolos controlados para evitar subjetividad. Los datos obtenidos serán la base de toda la investigación planteada, para así analizar los volúmenes de escorrentía, el peso y costo por m^2 de techo verde, para posteriormente evaluarlo en toda la zona de estudio.

La Fig. 2 presenta el diagrama del procedimiento que se realizó en esta investigación para poder cumplir con los objetivos planteados:

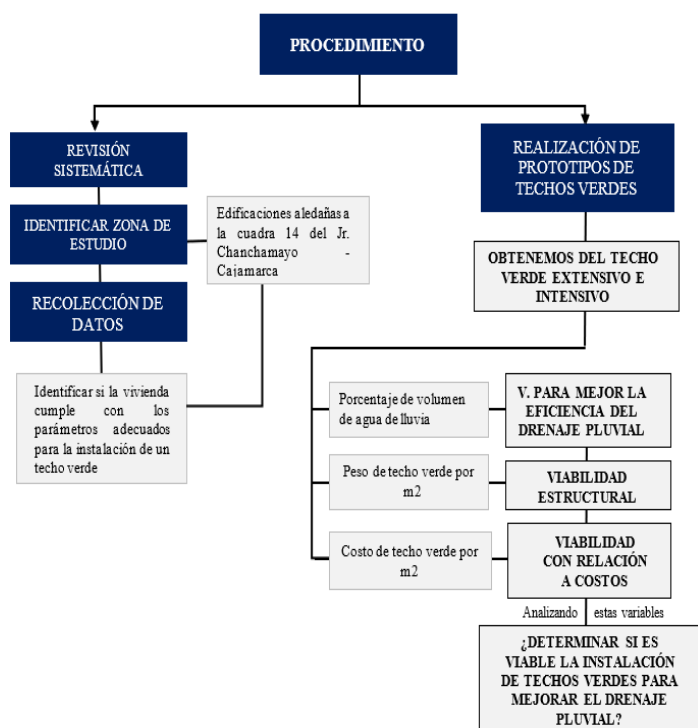


Fig. 2 Diagrama de procedimiento y análisis de datos.

En esta investigación 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.

La Fig. 3 y la Fig. 4 presenta el diagrama de las capas que conformaron cada prototipo de techo verde y sus respectivos componentes.

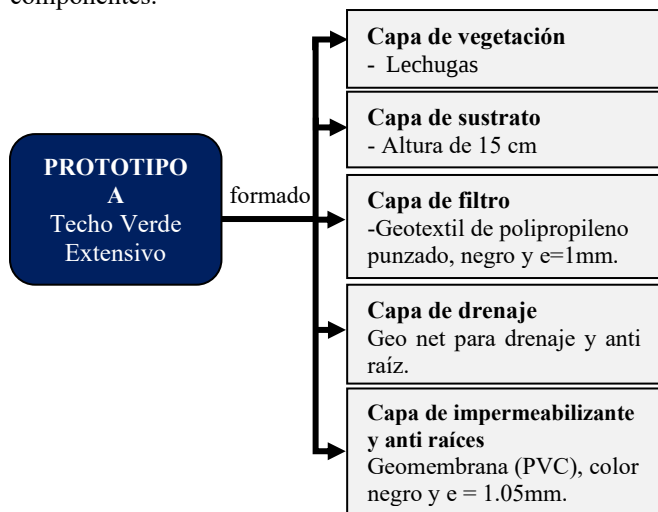


Fig. 3 Diagrama de los componentes del PROTOTIPO A - Techo verde Extensivo.

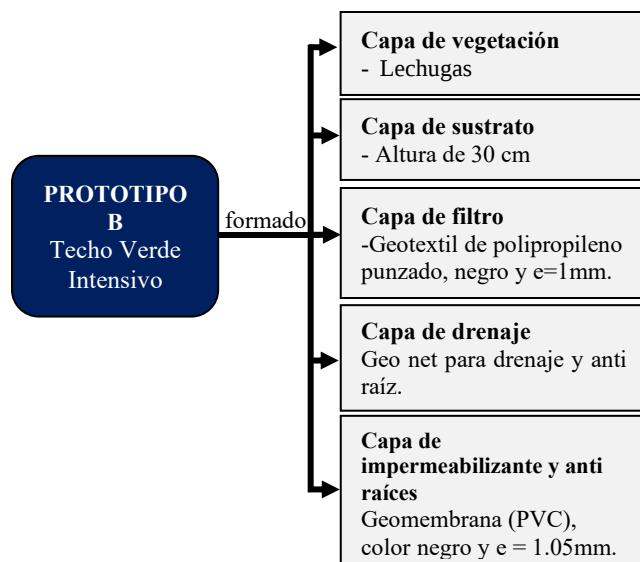


Fig. 4 Diagrama de los componentes del PROTOTIPO B-Techo verde Intensivo.

Para determinar la validez y confiabilidad de los resultados que se obtuvieron se presentarán los formatos de los ensayos realizados en los prototipos de registro firmados por un encargado y las fichas técnicas de cada material usado en estos; y para el análisis estructural que se realizará mediante el software, se hallarán los desplazamientos que ocasionan estas cargas y se compararán con los valores que establece la norma E030 Diseño Sismorresistente, siendo el valor limite 0.007 para estructuras de concreto armado, y logrando así resultados válidos para analizar la viabilidad de la instalación de techos verdes en la zona del proyecto.

La Fig. 5 muestra el modelado 3D de los prototipos elaborados y las capas que lo componen.

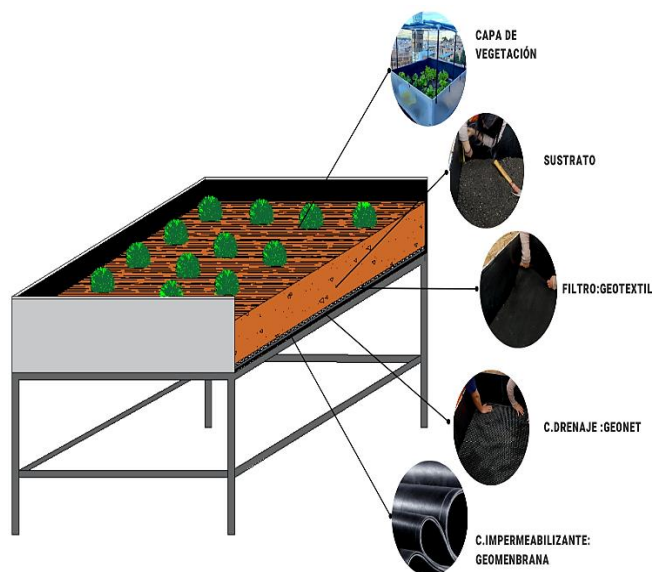


Fig. 5 Corte transversal del modelado del prototipo, para identificación de capas.

III. RESULTADOS

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

A. 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 I
PORCENTAJE DE AGUA RETENIDA POR EL PROTOTIPO DE TECHO VERDE
A:1-2 SUSTRATO NO SATURADO

Porcentaje De Agua Retenida				
Descripción	Ensayo		Promedio	Tasa %
	1	2		
Tiempo de lluvia (min)	7	6.5	6.8	-
Volumen de agua empleado (L)	40	40	40	100.0
Volumen de agua filtrada (L)	9.38	9.46	9.42	23.5
Volumen de agua retenido (L)	30.62	30.54	30.58	76.5

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 II
PORCENTAJE DE AGUA RETENIDA POR EL PROTOTIPO DE TECHO VERDE
A:1-2 SUSTRATO PARCIALMENTE SATURADO.

Porcentaje De Agua Retenida				
Descripción	Ensayo		Promedio	Tasa %
	1	2		
Tiempo de duración de lluvia (min)	7	7	7.0	-
Volumen de agua empleado (L)	40	40	40	100.0
Volumen de agua filtrada (L)	23.48	24.44	23.96	59.9
Volumen de agua retenido (L)	16.52	15.56	16.04	40.1

▪ 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 III
PORCENTAJE DE AGUA RETENIDA POR EL PROTOTIPO DE TECHO VERDE
B:1-2 SUSTRATO NO SATURADO

Porcentaje De Agua Retenida				
Descripción	Ensayo		Promedio	Tasa %
	1	2		
Tiempo de lluvia (min)	7	7	7	-
Volumen de agua empleado (L)	40	40	40	100.0
Volumen de agua filtrada (L)	5.49	5.29	5.39	13.5
Volumen de agua retenido (L)	34.51	34.71	34.61	86.5

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 IV
PORCENTAJE DE AGUA RETENIDA POR EL PROTOTIPO DE TECHO VERDE
B:1-2 SUSTRATO PARCIALMENTE SATURADO

Porcentaje De Agua Retenida				
Descripción	Ensayo		Promedio	Tasa %
	1	2		
Tiempo de lluvia (min)	6	7	6.5	-
Volumen de agua empleado (L)	40	40	40	100.0
Volumen de agua filtrada (L)	22.55	23.04	22.79	57.0
Volumen de agua retenido (L)	17.45	16.96	17.21	43.0

La figura 6 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.

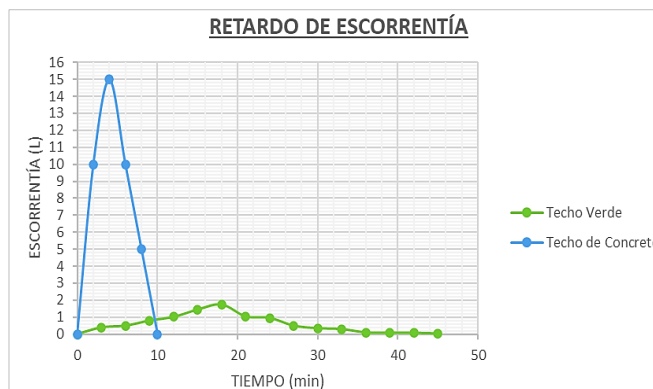


Fig. 6 Duración de escorrentía entre un techo verde y uno de concreto.

B. Análisis Estructural Mediante Modelamiento en ETABS.

Para el análisis de la estabilidad estructural de las edificaciones previamente seleccionadas en la 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 V
PESO DEL PROTOTIPO DE TECHOS VERDES EXTENSIVOS

Peso De Los Prototipos Por M2		
PROTOTIPO A	Material	Peso (kg/m2)
	Bandeja	22.5
	Geomembrana	0.7
	Geo net	0.5
	Geotextil	0.2
	Sustrato + planta	145.1
	Agua retenida	31.00
TOTAL		200

TABLA VI
PESO DEL PROTOTIPO DE TECHOS VERDES INTENSIVOS

Peso De Los Prototipos Por M2		
PROTOTIPO B	Material	Peso (kg/m2)
	Bandeja	22.5
	Geomembrana	0.7
	Geo net	0.5
	Geotextil	0.2
	Sustrato + planta	267.7
	Agua retenida	35.00
TOTAL		326.6

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 VII
ÁREA DE VIVIENDAS DISPONIBLE PARA INSTALACIÓN DE TECHOS VERDES MODULARES

Vivienda	Superficie De Techo	Espacio Disponible Para Techos Verdes	% De Área Para Techos Verdes
1	101.6089	15.00 m2	14.8%
2	106.7 m2	15.00 m2	14.1%
3	120.6 m2	12.00 m2	10.0%
4	92.9 m2	24.00 m2	25.8%
5	95.2 m2	23.00 m2	24.2%
6	56.5 m2	17.00 m2	30.1%

Para el estudio estructural se recolectaron o elaboraron los planos estructurales y arquitectónicos de cada edificación seleccionada, para proceder al modelamiento 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 VIII
DERIVAS EN LA DIRECCIÓN X, OBTENIDAS MEDIANTE EL MODELAMIENTO COMPARADAS SEGÚN EL ARTÍCULO 32 DE LA NTP E-0.30

Piso	Altura	Deriva elástica	Deriva inelástica	Deriva Limite	Validación
EDIFICACIÓN - 1					
Piso 3	2.5	0.000704	0.00203456	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.000802	0.00231778	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.000622	0.00179758	0.007	CORRECTO
EDIFICACIÓN - 2					
Piso 3	2.5	0.001287	0.00371943	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.002459	0.00710651	0.007	VERIFICAR
Piso 1	3.5	0.003618	0.01045602	0.007	VERIFICAR
EDIFICACIÓN - 3					
Piso 4	2.5	0.000546	0.00157794	0.007	CORRECTO
Piso 3	2.5	0.00111	0.0032079	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.0021	0.006069	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.008593	0.02483377	0.007	VERIFICAR
EDIFICACIÓN - 4					
Piso 3	2.5	0.001953	0.00564417	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.003357	0.00970173	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.003813	0.01101957	0.007	VERIFICAR
EDIFICACIÓN - 5					
Piso 3	2.5	0.000892	0.00257788	0.007	CORRECTO
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	0.00116	0.00336107	0.007	CORRECTO

Asimismo, teniendo en cuenta en lo establecido en la norma E30 Diseño Sismorresistente y mediante el modelamiento 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 IX
DERIVAS EN LA DIRECCIÓN Y, OBTENIDAS MEDIANTE EL MODELAMIENTO COMPARADAS SEGÚN EL ARTÍCULO 32 DE LA NTP E-0.30

Piso	Altura	Deriva elástica	Deriva inelástica	Deriva Limite	Validación
EDIFICACIÓN - 1					
Piso 3	2.5	0.000223	0.00064447	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.000237	0.00068493	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.00018	0.0005202	0.007	CORRECTO

EDIFICACIÓN - 2					
Piso 3	2.5	0.000978	0.00282642	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.001958	0.00565862	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.003893	0.01125077	0.007	VERIFICAR
EDIFICACIÓN - 3					
Piso 4	2.5	0.00074	0.0021386	0.007	CORRECTO
Piso 3	2.5	0.001532	0.00442748	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.002788	0.00805732	0.007	VERIFICAR
Piso 1	3.5	0.014961	0.01323729	0.007	VERIFICAR
EDIFICACIÓN - 4					
Piso 3	2.5	0.000733	0.00211837	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.001273	0.00367897	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.001535	0.00443615	0.007	CORRECTO
EDIFICACIÓN - 5					
Piso 3	2.5	0.000632	0.00182648	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.001141	0.00329749	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.001212	0.00350268	0.007	CORRECTO
EDIFICACIÓN - 6					
Piso 1	3.5	0.000883	0.00255187	0.007	CORRECTO

También se realizó el análisis estructural de las edificaciones con la carga de los techos verdes extensivos mediante el modelado en ETABS y lo establecido en la norma E30 Diseño Sismorresistente.

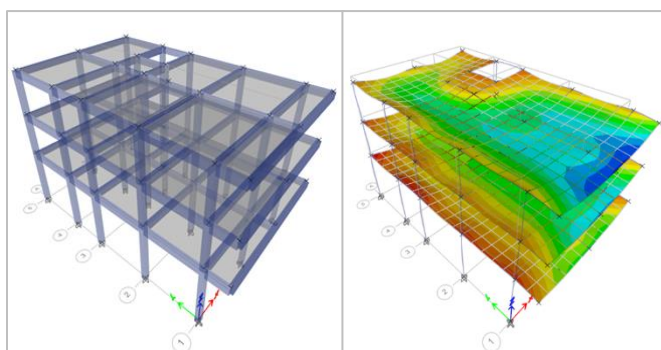


Fig. 7 Modelado de la Edificación 2 en el programa ETABS.

Los resultados de las derivas en X de cada edificación se muestran en la Tabla 10.

TABLA X DERIVAS EN LA DIRECCIÓN X, OBTENIDAS MEDIANTE EL MODELAMIENTO COMPARADAS SEGÚN EL ARTÍCULO 32 DE LA NTP E-0.30					
Piso	Altura	Deriva elástica	Deriva inelástica	Deriva Limite	Validación
EDIFICACIÓN - 1					
Piso 3	2.5	0.000218	0.00063002	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.000233	0.00067337	0.007	CORRECTO

Piso 1	3.5	0.000178	0.00051442	0.007	CORRECTO
EDIFICACIÓN - 2					
Piso 3	2.5	0.001241	0.00358649	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.002419	0.00499091	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.00359	0.0610375	0.007	CORRECTO
EDIFICACIÓN - 3					
Piso 4	2.5	0.000538	0.00155482	0.007	CORRECTO
Piso 3	2.5	0.001101	0.00318189	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.002089	0.00603721	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.005553	0.00691817	0.007	CORRECTO
EDIFICACIÓN - 4					
Piso 3	2.5	0.001751	0.0017109	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.003143	0.00506039	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.00363	0.00608327	0.007	CORRECTO
EDIFICACIÓN - 5					
Piso 3	2.5	0.000841	0.00243049	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.001714	0.00495346	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.003001	0.0067289	0.007	CORRECTO
EDIFICACIÓN - 6					
Piso 1	3.5	0.001041	0.0030084	0.007	CORRECTO

Asimismo, se obtuvo los resultados de derivas en Y para cada una las 6 edificaciones seleccionadas, los cuales se muestran en la Tabla 11.

TABLA XI DERIVAS EN LA DIRECCIÓN Y, OBTENIDAS MEDIANTE EL MODELAMIENTO COMPARADAS SEGÚN EL ARTÍCULO 32 DE LA NTP E-0.30					
Piso	Altura	Deriva elástica	Deriva inelástica	Deriva Limite	Validación
EDIFICACIÓN - 1					
Piso 3	2.5	0.000204	0.000590	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.000221	0.000639	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.000170	0.000491	0.007	CORRECTO
EDIFICACIÓN - 2					
Piso 3	2.5	0.000964	0.002786	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.001957	0.005656	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.003902	0.061128	0.007	CORRECTO
EDIFICACIÓN - 3					
Piso 4	2.5	0.000738	0.00213282	0.007	CORRECTO
Piso 3	2.5	0.001534	0.00443326	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.002797	0.00508333	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.004996	0.006333844	0.007	CORRECTO

EDIFICACIÓN - 4					
Piso 3	2.5	0.000673	0.00194497	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.001212	0.00350268	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.00148	0.0042772	0.007	CORRECTO
EDIFICACIÓN - 5					
Piso 3	2.5	0.000592	0.00171088	0.007	CORRECTO
Piso 2	2.5	0.001105	0.00319345	0.007	CORRECTO
Piso 1	3.5	0.001186	0.00342754	0.007	CORRECTO
EDIFICACIÓN - 6					
Piso 1	3.5	0.000798	0.00230622	0.007	CORRECTO

C. Análisis de costos

Se realizó el 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 se muestran en la Tabla 12 y Tabla 13.

TABLA XII
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LOS PROTOTIPOS DE TECHOS VERDES EXTENSIVOS - 1m²

Part.	01.01.01	CONSTRUCCIÓN DE MÓDULO DE TECHO VERDE EXTENSIVO					
Rend	m2/DIA	MO. 2.000	EQ. 2.000	Costo unitario por m2		S/ 441.4	
	Descripción de Recurso	Unida	Cuadrilla	Cant.	Precio	Parcial	Parcial
	Mano de Obra PEÓN	hh	0.5000	2.0	18.50	37.00	37.00
							37.00
	Materiales						
	SOPORTE Y BANDEJA METÁLICA 1 x 1m	und		1.0	350.00	350.00	350.00
	GEOMEMBRANA E=1.05 mm LISA	m2		1.0	18.000	18.00	18.00
	GEOTEXTIL PARA DRENAJE E = 1.00 mm	m2		1.0	8.00	8.00	8.00
	GEONET E=6 mm	m2		1.0	11.00	11.00	11.00
	TIERRA NATURAL SOBRE DE SEMILLAS DE LECHUGA	m3		0.15	35.00	5.25	5.25
	TUBERÍA PVC 1/2" x 2.5 m	m		1.0	2.00	2.00	2.00
	CODO CPVC DE 1/2" x 90°	und		1.0	1.50	1.50	1.50
	PEGAMENTO CPVC DE 100 ml	und		0.0014	4.00	0.006	0.01
							403.26
	Equipos						
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.00	37.00	111.00	111.00
							1.11

TABLA XIII
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LOS PROTOTIPOS DE TECHOS VERDES INTENSIVOS - 1m²

Part.	01.01.02	CONSTRUCCIÓN DE MÓDULO DE TECHO VERDE INTENSIVO					
Rend	m2/DIA	MO. 2.000	EQ. 2.000	Costo unitario por m2		S/ 477.6	
	Descripción de Recurso	Unida	Cuadrilla	Cant.	Precio	Parcial	Parcial
	Mano de Obra PEÓN	hh	0.5000	2.0	18.50	37.00	37.00
							37.00
	Materiales						
	SOPORTE Y BANDEJA METÁLICA 1 x 1m	und		1.0	350.00	350.00	350.00
	GEOMEMBRANA E=1.05 mm LISA	m2		1.0	18.000	18.00	18.00
	GEOTEXTIL PARA DRENAJE E = 1.00 mm	m2		1.0	8.00	8.00	8.00
	GEONET E=6 mm	m2		1.0	11.00	11.00	11.00
	TIERRA NATURAL SOBRE DE SEMILLAS DE RABANITO	m3		0.30	35.00	10.50	10.50
	TUBERÍA PVC 1/2" x 2.5 m	und		1.0	3.00	3.00	3.00
	CODO CPVC DE 1/2" x 90°	m		1.0	7.50	7.50	7.50
	PEGAMENTO CPVC DE 100 ml	und		1.0	1.50	1.50	1.50
				0.0014	4.00	0.006	0.01
							43951
	Equipos						
	HERRAMIENTA MANUALES	%mo		3.00	37.00	111.00	111.00
							1.11

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 XIV
CONTRIBUCIÓN ECONÓMICA DE LOS MÓDULOS DE TECHOS VERDES POR M2 SEMBRADOS CON LECHUGA.

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

TABLA XV
CONTRIBUCIÓN ECONÓMICA DE LOS MÓDULOS DE TECHOS VERDES POR M2
SEMBRADOS CON RABANITO.

Producto del Techo Verde	Unidad de medida	Cant. Cosechada por m2 - Módulo de T. V	Precio (s/.)	Ingreso total (s/.)	Tiempo de producción
Rabanito	Atado	6	3.00	18	1 mes y medio
TOTAL				S/ 18.00	

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 XVI
CONTRIBUCIÓN ECONÓMICA DE LOS MÓDULOS DE TECHOS VERDES POR M2
SEMBRADOS CON RABANITO.

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

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

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 en donde se indica que el porcentaje de retención de un techo verde extensivo hecho con material convencional es solo de 8.03% [17], este resultado puede variar con el presentado en esta investigación porque el espesor del sustrato utilizado fue solo de 8 cm, no conto con cobertura vegetal y fue realizado en menos de 1m2.

Sin embargo, existen muchas investigaciones que avalan los resultados de la presente investigación, [18] en donde se concluyen 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 otra investigación determino 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 [19]. Estas estadísticas dejan a relucir que los techos verdes tienen una capacidad buena de retención y que son una ventaja importante al momento de reducir los grandes volúmenes de agua de lluvia que llegan a los drenajes pluviales.

Con respecto los porcentajes de retención de agua de lluvia dependiendo de los dos tipos de techos verdes analizados: podemos dar como resultado que los techos verdes extensivos pueden retener hasta 77% de agua de lluvia estando secos; y

hasta un 40% estando parcialmente saturados, es decir cuando hay lluvias con pocas horas de diferencia; los resultados guardan relación con los porcentajes de 49.89% - 77.82% indicados en otra investigación [20]. Estas cifras muestran 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 kg/m².

Por otra parte, los techos verdes intensivos pueden retener hasta 87% de agua de lluvia cuando están secos y hasta un 43% cuando están parcialmente saturados. Encontramos resultados de retención similares en otras investigaciones, por ejemplo, se obtuvo un porcentaje de retención para un techo intensivo de 22cm de espesor de 88.6% en la ciudad de Australia [21]; también podemos ver similitud con otra indagación hecha para un sustrato de 30cm en donde se obtuvo un porcentaje de retención del 70% cuando el sustrato está seco y entre 40% - 50% cuando hay saturación debido a lluvias anteriores [22]. 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, 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 kg/m².

Los techos verdes en estado saturado bajan su capacidad de retención en casi el 50% según los resultados obtenidos en esta investigación. Hecho reflejado en otros trabajos experimentales donde también se concluyó que entre más cortos 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 [23]. Esto se debe a la saturación de agua que puede tener ciertas partes del techo verde debido a precipitaciones anteriores, y al corto periodo de tiempo de evapotranspiración generando que haya así un mayor volumen de filtración 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. Esto importante debido a 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 [20], 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.

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.

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/m² y en los intensivos de 326.6 Kg/m². Después de encontrar las derivas máximas tanto en X como en Y para las 6 edificaciones seleccionadas como se muestra en la Tabla 9-10 para edificaciones en donde se pretende instalar techos verdes intensivos y las Tablas 11-12 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 [24], permitiendo así que este proyecto se pueda instalar sin problemas estructurales que puedan generar agrietamientos, o deformaciones en las edificaciones.

Los resultados encontrados 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 le permite ser más adaptable a estructuras no diseñadas inicialmente para soportar este tipo de cargas adicionales. Esto guarda relación con lo obtenido mediante el análisis estructural realizado para una vivienda en el distrito de Tartar- Baños del Inca en donde se determinó que, si es viable la instalación de techos extensivos, debido a que se agrega una carga relativamente baja [25].

Con respecto a nuestro tercer objetivo específico se determinó el costo de instalación de un sistema de techo verde modular por m², dando como resultado un costo unitario de S/.441.50 para techos verdes intensivos y S/. 477.60 para techos extensivos al año 2022, estos resultados guardan correlación con el costo de S/.460.00 obtenido en otra investigación para techos verdes extensivos con materiales convencionales [17]. Sin embargo, estos resultados varían con el costo directo de S/.80.00 por m² calculado para este mismo tipo de techo verde en otro estudio [26], es necesario aclarar que este diferencia se basa en que los costos obtenidos en el estudio antes mencionado son sólo de las capas que forman el techo verdes y no de la estructura modular de techos verdes completa como si ha sido realizado en la presente investigación, además de que al ser un análisis de costos realizado a la fecha de 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 [27], 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 reemplazar los soportes metálicos por unos de madera.

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 encontraste 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, ya que esta producción 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 [28]. Según los resultados obtenidos en esta investigación un techo verde modular de 1m², 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 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 ingresos no cubren en un inicio el costo total de instalación de un sistema de techos verdes, si se pueden cubrir a largo plazo y al ser este un sistema duradero se podría concluir que, si es un sistema rentable.

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 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 [22],[29],[30] y queda demostrado que, si son una alternativa viable para apoyar a los sistemas de drenaje en la zona de estudio y dependiendo de la evaluación estructural 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. Las conclusiones de esta investigación permiten corroborar que este sistema de techos

verdes si es una solución factible y conduce a que muchas más personas, entidades públicas o 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 nos permite 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?, además de que abre puertas a investigaciones, 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, específicamente en la selección de muestra, ya que se vio restringida a sólo 1/4 de las edificaciones de nuestra población total, esto debido al poco conocimiento de esta nueva tecnología lo que genera desconfianza para dar acceso a sus viviendas; otro aspecto limitante fue el área disponible en sus techos, ya que muchas de estas edificaciones no cuentan con áreas disponibles.

Finalmente, aunque el presente estudio se basa en una muestra de participantes limitada, los resultados no se ven afectados por esto y permiten determinar que los techos verdes si pueden mejorar el drenaje pluvial en la ciudad de Cajamarca.

REFERENCES

- [1] D. B. Rowe, "Green roofs as a means of pollution abatement", *Environmental Pollution*, vol. 159, n° 8, pp. 2100-2110, 2011.
- [2] Instituto Nacional de Estadística e Informática, "CENSOS 2017: Departamento De Cajamarca cuenta con 1 341 012 habitantes", 2018. [Online]. Disponible en: <https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-194-2018-inei.pdf>.
- [3] Instituto Nacional De Defensa Civil, "Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Cajamarca", 2005. [Online]. Disponible en: http://bvpad.indeci.gov.pe/doc/estudios_CS/Region_cajamarca/cajamarca/cajamarca.pdf.
- [4] L. Soriano, "Estrategias integradas para la gestión sostenible de aguas de lluvia en áreas metropolitanas", Congreso Nacional del Medio Ambiente, Madrid, 2012, pp. 1-18.
- [5] G. P. Chávez, "Estudio de la Gestión Ambiental para la prevención de impactos y monitoreo de las obras de construcción de Lima Metropolitana", Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2014.
- [6] A. Palla, L. Gnecco y L. G. Lanza, "Hydrologic Restoration in the Urban Environment Using Green Roofs", *Water*, vol. 2, pp. 140-154, 2010.
- [7] R. Fioretti, A. Palla, L. G. Lanza y P. Principi, "Rendimiento relacionado con la energía y el agua de los techos verdes para el clima mediterráneo", *Building and Environment*, vol. 45, n° 8, pp. 1890-1904, 2010.
- [8] G. Pérez, "Experiencias en el monitoreo continuo de techos verdes modulares", Tesis de Maestría, Universidad de los Andes, Bogotá, 2015.
- [9] O. A. Vásquez, "Evaluación de los efectos de tipos de sustrato y vegetación en el comportamiento de techos verdes y azules", Tesis, Universidad de los Andes, Bogotá, 2013.
- [10] J. A. Morales, M. A. Cristancho y G. A. Baquero, "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*, vol. 21, n° 3, p. 179-196, 2017.
- [11] R. A. Ibáñez, "Techos vivos extensivos: Una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia", *Alarife: Revista de arquitectura*, n° 16, pp. 21-36, 2008.
- [12] S. Galarza, A. Torres, P. Rengifo, A. Puentes y E. Cárcamo, "The benefits of an eco-productive green roof in Bogotá, Colombia", *Sage Journal: Indoor and Built Environment*, vol. 26, n° 8, pp. 1135-1143, 2017.
- [13] M. Köhler, M. Schmidt, F. Wilhelm, M. Laar, V. L. Assunção y S. Tavares, "Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics – far beyond the aesthetics", *Environmental Management and Health*, vol. 13, n° 4, pp. 382-391, 2002.
- [14] W. C. Li y K. K. A. Yeung, "A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective", *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 3, n° 1, pp. 127-134, 2014.
- [15] R. Hernández, R. C. Fernández y P. Baptista, Metodología de la Investigación, México: McGraw Hill Interamericana, 2014.
- [16] K. Pole, "Mixed method designs: A review of strategies for blending quantitative and qualitative methodologies", *Mid-Western Educational Researcher*, vol. 2, n° 16, pp. 35-38, 2007.
- [17] J. I. Alvarado y M. K. Jara, "Estudio comparativo de materiales convencionales y de origen natural en la construcción de prototipos para techos verdes extensivos en la ciudad de Cajamarca", Tesis, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, 2020.
- [18] L. M. Ahiablame, B. A. Engel y I. Chaubey, "Effectiveness of Low Impact Development Practices: Literature Review and Suggestions for Future Research", *Water Air Soil Pollut*, vol. 223, n° 7, pp. 4253-4273, 2012.
- [19] T. L. Carter y T. C. Rasmussen, "Hydrologic Behavior of Vegetated Roofs", *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, vol. 42, n° 5, pp. 1261-1274, 2007.
- [20] P. Castaño, "Techos verdes y sistemas de procesamiento de agua de lluvia", Tesis, Universidad Argentina de la Empresa, Buenos Aires, 2014.
- [21] M. Razzaghmanesh y S. Beecham, "The hydrological behavior of extensive and intensive green roofs in a dry climate", *Science of The Total Environment*, vol. 499, pp. 284-296, 2014.
- [22] H. Rosatto, G. Villalba, C. Rocca, M. Meyer, M. Bargiela, P. Hashimoto, D. Laureda, L. Pruzzo, D. Kohan, L. Cazorla, L. Rodríguez Plaza, E. Quaintenne, D. Barrera, N. Mazzeo, P. Gamboa y C. Caso, "Eficiencia en la retención del agua de lluvia de cubiertas vegetadas de tipo "extensivo e"intensivo"", *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, vol. 45, n° 1, pp. 169 – 183, 2013.
- [23] E. Burszta-Adamiak, "Analysi Of Stormwater Retention On Green Roofs", *Archives of Environmental Protection*, vol. 38, n° 4, pp. 3-13, 2012.
- [24] Ministerio De Vivienda, "NORMA TÉCNICA E.030 [RNE]. Art.32." 2018. [Online]. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/anexo-de-rm-n-355-2018-vivienda-mediante-la-cual-se-modi-anexo-rm-n355-2018-vivienda-1720685-1>.
- [25] E. F. Muñoz Chavez, "Factibilidad y diseño de una vivienda usando techos verdes en el sector las Casitas, caserio Tartar Grande, Distrito los Baños Del Inca – Cajamarca", Tesis, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, 2021.
- [26] F. Salas, "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", Tesis, Universidad de San Martín de Porres, Lima, 2017.
- [27] CYPE Ingenieros, S.A., "Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción", 2022. [Online]. Disponible en: http://www.peru.generadordeprecios.info/obra_nueva/Techos/Planas/No_t_ransitables_no_ventiladas/QAD050_Techo_verde_sistema_Urbscape_KN.html.
- [28] D. Duarte y A. A. Moreno, "Techos verdes en viviendas de estrato 1: aplicado al barrio Yomasa", Tesis, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2014.
- [29] K. H. Kok, L. M. Sidek, M. F. Chow, M. R. Zainal Abidin, H. Basri y G. Hayder, "Evaluation of green roof performances for urban stormwater quantity and quality controls", *International Journal of River Basin Management*, vol. 14, n° 1, pp. 1-7, 2016.
- [30] O. Contreras y P. A. Villegas, "Diseño de prototipo de techo verde para captación de agua pluvial: caso de estudio Usaquén Colombia", XXVII Congreso Latinoamericano De Hidráulica, Lima, Perú, 2016, pp. 15-50.