RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTOR	José Mauricio Velásquez Rincón
FACULTAD	Ingenierías
PLAN DE ESTUDIOS	Maestría en construcción
DIRECTOR	MSc. Romel Jesús Gallardo Amaya
CODIRECTOR	MSc. Agustín Armando MacGregor Torrado
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis de la implementación del uso de fachadas verdes como propuesta sostenible para la construcción de edificaciones en la ciudad de Ocaña Norte de Santander
TITULO EN INGLES	Analysis of the implementation of the use of green facades as a sustainable proposal for the construction of buildings in the city of Ocaña Norte de Santander.

RESUMEN

El siguiente documento relaciona el uso de fachadas verdes aplicado a un caso de estudio en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander, en donde se define el costo beneficio de usar una fachada verde, y el acceso de los materiales, valorando el caso de estudio mediante los parámetros de certificación sostenible LEED, y concluyendo que en Ocaña si es asequible el material vegetal (sustrato y plantas) para desarrollar cual quiere proyecto de fachada verde en edificios no mayores de 4 niveles bajo cualquier metodología estudiada en la presente investigación.

RESUMEN EN INGLES

The following document relates the use of green facades applied to a case study in the Municipality of Ocaña, Norte de Santander, where the cost benefit of using a green facade is defined, and the accessibility of the materials, valuing the case study through the parameters of sustainable LEED certification, and concluding that in Ocaña if it is affordable plant material (substrate and plants) to develop any green facade project in buildings no higher than 5 floors under any student methodology in this research.

PALABRAS CLAVES	Jardín Vertical, fachada verde, sustrato, maceta vertical, jardín hidropónico, riego por goteo.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Vertical garden, green facade, substrate, vertical planter, hydroponic garden, drip irrigation.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 147	PLANOS: 1	ILUSTRACIONES: 27	CD-ROM:

Análisis de la implementación del uso de fachadas verdes como propuesta sostenible para la construcción de edificaciones en la ciudad de Ocaña Norte de Santander

José Mauricio Velásquez Rincón

Facultad de Ingeniarías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Maestría en Construcción

MSc. Romel Jesús Gallardo Amaya

MSc. Agustín Armando MacGregor Torrado

Abril de 2025

Índice

Pág.

Capítulo 1. Análisis de la implementación del uso de fachadas verdes como propuesta sostenible para la construcción de edificaciones en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander 10

1.1 Planteamiento del Problema 10

1.2 Formulación del Problema 13

1.3 Objetivos de investigación 13

1.3.1 Objetivo General 13

1.3.2 Objetivos Específicos 13

1.4 Justificación 14

1.5 Delimitaciones 16

1.5.1 Delimitación Geográfica 16

1.5.2 Delimitación Temporal 17

1.5.3 Delimitación conceptual 17

1.5.4 Delimitación Operativa 17

Capítulo 2. Marco Referencial 19

2.1 Marco Histórico 19

2.1.1 Antecedentes 19

2.2 Marco contextual 22

2.3 Marco conceptual 23

2.3.1 Fachada verde 23

2.3.2 Sostenibilidad en la construcción 24

2.3.3 Equilibrio medioambiental 24

2.3.4 Eficiencia Energética 25

2.3.5 Ciclo de vida de una edificación 25
2.3.6 Irradiación horizontal 25
2.3.7 Radiación Solar 26
2.3.8 Certificación sostenible en Colombia 26
2.4 Marco teórico 28
2.5 Marco legal 33
Capítulo 3. Diseño metodológico 35
3.1 Diseño Metodológico 35
3.2 Seguimiento metodológico del proyecto 35
3.3 Población 36
3.4 Muestra 36
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de información 37
3.6 Análisis de información 37
Capítulo 4. Desarrollo de la Investigación 38
4.1 Análisis de las diferentes tipologías de fachadas verdes en edificaciones mediante una revisión documental para definir el método más conveniente en la construcción de edificaciones de máximo 4 niveles en el municipio de Ocaña 38
4.1.1 Tipologías de fachadas verdes 38
4.1.2 Clasificación de plantas para fachadas verdes 55
4.1.3 Ventajas y desventajas según el tipo de fachadas verdes 61
4.1.4 Definición del sistema de fachada verde para el estudio de caso 63
4.2 Evaluación del método de fachada verde más conveniente para edificaciones de máximo 4 niveles en el municipio de Ocaña, mediante la aplicación de un caso de estudio, para obtener estándares de calidad con una certificación LEED 64

4.2.1 Criterios y parámetros necesarios para la certificación LEED 67
4.2.2 Beneficios de la certificación LEED en Colombia 69
4.2.3 Descripción caso de estudio a implementar sistema de fachada verde 70
4.2.4 Análisis del caso de estudio según CheckList LEED V4 BD+C 75
4.3 Valoración económica de la implementación de la metodología de fachada verde más conveniente para edificaciones de máximo 4 niveles en el municipio de Ocaña, mediante un análisis de costo-beneficio, para conocer la viabilidad económica del método de fachada propuesto 84
4.3.1 Análisis de precios para el uso de fachadas verdes ofertados en el mercado colombiano 84
4.3.2 Análisis de precios por partidas para la construcción de fachadas verdes 91
4.3.3 Análisis de precio unitario para fachada verde en el municipio de Ocaña 100
4.3.4 Beneficios del uso de fachadas verdes 103
4.3.5 Análisis Costo beneficio 110
4.3.6 Análisis de beneficios sostenibles 119
Conclusiones 121
Recomendaciones 124
Referencias 125

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1 Sistema de certificación sostenible para la construcción en Colombia 27
Tabla 2 Modelo Metodológico 35
Tabla 3 Taxonomía de plantas recomendadas para fachadas verdes 55
Tabla 4 Clasificación de plantas usadas para fachadas verdes 57
Tabla 5 Analisis de ventajas y desventajas según el tipo de fachada verde 61
Tabla 6 Resumen de créditos para certificación LEED 68
Tabla 7 CheckList Transporte y Ubicación 76
Tabla 8 CheckList Sitios sustentables 77
Tabla 9 CheckList Uso Eficiente del Agua 79
Tabla 10 CheckList Energía y Atmosfera 79
Tabla 11 CheckList Materiales y Recursos 80
Tabla 12 CheckList Calidad Ambiental Interior 81
Tabla 13 CheckList Innovación 82
Tabla 14 CheckList Prioridad Regional 82
Tabla 15 Resumen de empresas relevantes que ofertan sistema de fachada verde en Colombia 85
Tabla 16 Analisis del sistema de fachadas en el mercado nacional 89
Tabla 17 Empresas de Ocaña que trabajan con plantas 99
Tabla 18 Resumen precios de plantas para fachadas verdes en Ocaña 99
Tabla 19 Analisis de precio unitario m2 para fachada modular en maceta plástica 101
Tabla 20 Analisis de precio unitario m2 para fachada modular en bolsillos flexibles 102
Tabla 21 Reglas de decisión VPN 111
Tabla 22 Tasa de descuento para Colombia según horizonte en años 112
Tabla 23 Costos financieros para el uso de fachadas verdes en Ocaña según caso de estudio .. 113
Tabla 24 Flujo de caja análisis financiero fachada verde en sistema modular de bolsillos flexibles 116
Tabla 25 Flujo de caja análisis financiero fachada verde en sistema modular maceta plástica. 117
Tabla 26 Analisis Costo – Beneficio 118

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1 Localización general del municipio de Ocaña, Norte de Santander 22
Figura 2 Sistemas de fachadas verdes 39
Figura 3 Sistemas de fachadas verdes directas e indirectas 40
Figura 4 Tipologías de fachadas Intensivo y Extensivo 41
Figura 5 Tipologías de fachadas según su sistema vegetal 42
Figura 6 Aplicación sistema de fachada con red de cables 43
Figura 7 Características del sistema de fachada verde con red de cables 44
Figura 8 Tensores para el tensionamiento de guayas de fachadas verdes 45
Figura 9 Módulo de maceta plástica tipo Canguru 47
Figura 10 Aplicación sistema de fachada modular con macetas plásticas 48
Figura 11 Esquema de fachada modular en bolsillos 49
Figura 12 Fachada con sistema modular en bolsillos 50
Figura 13 Esquema y ventajas del sistema modular de bolsillo Kanguro Jumbo 51
Figura 14 Instalación de fachada verde modular de bolsillos tipo Kanguro Jumbo 52
Figura 15 Esquema de fachada modular hidropónica 53
Figura 16 Esquema sistema de fachada perimetral 54
Figura 17 Niveles de certificación LEED 65
Figura 18 Créditos de certificación LEED 67
Figura 19 Fachada inicial caso de estudio Edif. Ocaña 70
Figura 20 Planos en Planta caso de estudio Edif. Ocaña 71
Figura 21 Perfil longitudinal proyecto caso de estudio Edif. Ocaña 72
Figura 22 Propuesta de fachada verde caso de estudio Edif. Ocaña 73
Figura 23 Render fachada verde proyecto caso de estudio 74
Figura 24 Analisis de sistemas de fachada ofertados 90
Figura 25 Grafica de costo por m2 de fachada verde según empresa 91
Figura 26 Cotización solicitada y recibida por Vertín para fachada verde en Ocaña 93
Figura 27 Ecokit Jardín Vertical 97
Figura 28 Módulos de bolsillos flexibles 98

Apéndice

Pág.

Apéndice A. Planos del proyecto caso de estudio..... 135

Apéndice B. Cotizaciones recibidas para el caso de estudio..... 141

Resumen

El presente documento relaciona el uso de fachadas verdes para edificaciones de máximo 4 niveles, a nivel local, enfocado al municipio de Ocaña, Norte de Santander, en donde se determina que a pesar de que no hay ninguna empresa en la zona que se dedique al diseño e instalación de jardines verticales, si es asequible los insumos y materiales para su implementación, definiendo el sistema de fachada modular en macetas plásticas y bolsillos flexibles como las metodologías más prácticas y fáciles para trabajar. A demás por medio de un análisis costo-beneficio de diferentes sistemas de fachada, se logra definir los sistemas de fachada verde con guayas, sistema modular en macetas y sistema modular en bolsillos flexibles como métodos viables para la implementación en Ocaña. Dentro del desarrollo de la investigación también se analizan los parámetros de certificación LEED, en donde el uso de fachada verde, presenta un gran potencial y si contribuye a las diferentes puntuaciones de créditos LEED.

Introducción

El uso de una fachada verde, conlleva a múltiples beneficios que contribuyen con el desarrollo sostenible de una región, pues al implementar un sistema de fachada verde, aumenta el confort al interior de una edificación, e impide que la radiación solar aumente la temperatura interior, lo que repercute positivamente en un ahorro energético al evitar usar aparatos eléctricos para climatizar espacios interiores. Otro de los beneficios que ofrece el uso de una fachada verde corresponde al bienestar y confort que produce, al igual que contribuye a mejorar la calidad del aire.

Teniendo en cuenta el impacto positivo que puede generar una fachada verde en edificaciones, se analiza en este documento la implementación del uso de fachadas verdes como propuesta sostenible para la construcción de edificaciones en el municipio de Ocaña, en donde inicialmente se hace un análisis sobre los diferentes métodos y tipologías de fachadas que pueden aplicar a un caso de estudio en específico, determinando el sistema de fachada mas conveniente para la ciudad de Ocaña, en base al sistema de instalación y costo-beneficio.

De acuerdo al caso de estudio definido para el análisis del uso de fachada más conveniente para la ciudad de Ocaña, se evalúan parámetros y criterios de certificación LEED, en donde se determina que el uso de fachadas verde tiene un gran potencial para obtener una certificación sostenible y los beneficios que esto conlleva.

Capítulo 1. Análisis de la implementación del uso de fachadas verdes como propuesta sostenible para la construcción de edificaciones en la ciudad de Ocaña Norte de Santander

1.1 Planteamiento del Problema

De acuerdo a las intensas olas de calor, las sequías y los diferentes fenómenos medio ambientales que se han presentado a lo largo del tiempo, ha surgido la necesidad de contar con lugares y espacios que ofrezcan una comodidad y confort llevando así a la historia, desarrollo y evolución de la construcción civil, en especial la construcción de edificaciones o viviendas, en donde hoy en día, debido al desgaste de la naturaleza por la interacción y contaminación que genera el ser humano, se buscan implementar practicas constructivas que contribuyan al medio ambiente, como lo es el caso de la implementación de fachadas verdes para edificaciones.

Según Franco S. (2015), la utilización de sistemas vegetales verticales como fachadas verdes, mejoran el impacto visual de las zonas urbanas, reducen la huella de carbono, generando hábitats más partidarios con el ambiente. Los beneficios de este tipo de sistemas se han visto como una forma de ahorro para la sociedad. Según algunos estudios, una hectárea de cubierta verde puede eliminar entre 72 y 85 kilogramos de contaminantes atmosféricos. (Yang, Yu, & Gong, 2008)

De acuerdo a Shu et al. (2024), la densificación urbana ha conllevado a la adopción del uso de fachadas verdes como respuesta para mitigar el impacto ambiental que genera el crecimiento urbanístico, sin embargo, el conocimiento limitado sobre el uso de las plantas adecuadas para fachadas verdes puede obstaculizar el proceso, lo cual puede hacer que el sistema

de fachada verde sea ineficiente al tener gastos adicionales de mantenimiento por desconocer el tipo de planta adecuado para el sistema de fachada verde.

Según Moore et al. (2024), el uso de vegetación en la fachada, afecta positivamente a la demanda de calefacción y refrigeración en una edificación lo que contribuye a la reducción del consumo energético al no tener que usar aparatos eléctricos para mantener el confort dentro de un espacio interior. Implementar una fachada verde es similar a utilizar una capa de 2,5 cm de aislamiento de poliestireno expandido para usos exteriores, lo que refleja que un muro verde puede reducir su consumo de energía en una edificación hasta de un 12%.

En lo que respecta a la edificación de viviendas en el municipio de Ocaña, como antecedente a la presente propuesta de investigación, según Guerrero R. (2018), los nuevos usos del suelo reservados para la proyección urbanística, en casos como la urbanización María Paz, o el sector del Hatillo, el cual se encuentra en un constate crecimiento, entre otros, han conllevado a un tipo de ciudad deficiente, forzado por el impulso de particulares con criterios exclusivamente de rentabilidad económica, sin tener en cuenta parámetros de densidad poblacional, índices de ocupación, paisajismo y de construcción adecuada.

Con relación a las temperaturas promedios a las cuales se encuentra sometida la región de Ocaña perteneciente al departamento Norte de Santander, según el reporte diario establecidos por la triangulación de estaciones meteorológicas más cercanas, Ocaña tiene veranos precarios, calurosos y húmedos; se presentan épocas de invierno cortos y lluviosos y en el transcurso del año la mayor parte del tiempo permanece nublado. La temperatura media anual oscila entre los

16 y los 26 grados centígrados, con excepcionales descensos por debajo de los 15 o por encima de los 28 grados. (Weather Spark, 2024)

La experiencia térmica interior de las personas que viven en una casa es de vital importancia. El confort de las personas se ve afectado negativamente por temperaturas demasiado altas o demasiado bajas, e incluso puede repercutir en su salud. (Bustamante y Campusano, 2014). Para el caso del Municipio de Ocaña, teniendo en cuenta que su condición demográfica no presenta los mismos niveles de contaminación e intensidad de radiación solar que puede presentar una gran ciudad, sin embargo, con el desarrollo de la presente propuesta de investigación, se busca analizar y proponer mediante un análisis de viabilidad económica y sostenible, el uso de fachadas verdes para edificaciones nuevas o existente como medida medioambiental, para favorecer con el progreso sostenible de la región y lograr una certificación de construcción sostenible, considerando que a la fecha no existe una investigación similar que estudie las condiciones para el uso de fachadas verdes en el Municipio de Ocaña.

Por lo anterior el estudio de fachadas verdes aplicado a edificaciones en el municipio de Ocaña, tiene un alcance tanto para obras nuevas, como para remodelaciones u edificaciones existentes que cuenten con los sistemas de muros que cumplan con las resistencias mínimas para soportar las cargas que generan la implementación de fachadas verdes, puesto que el uso de una fachada verde, es un sistema compuesto agregado o sobre puesto a un muro en mampostería confinada, mampostería simple, o concreto.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuál es la fachada verde más conveniente teniendo en cuenta su viabilidad técnica y económica para la construcción de edificaciones de máximo 4 niveles, en Ocaña, Norte de Santander?

1.3 Objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo General

Analizar la implementación del uso de fachadas verdes en la construcción de edificaciones en la ciudad de Ocaña mediante la aplicación de un caso de estudio para contribuir con el desarrollo sostenible de la ciudad.

1.3.2 Objetivos Específicos

Realizar un análisis de las diferentes tipologías de fachadas verdes en edificaciones mediante una revisión documental para definir el método más conveniente en la construcción de edificaciones de máximo 4 niveles en el municipio de Ocaña.

Evaluar el método de fachada verde más conveniente para edificaciones de máximo 4 niveles en el municipio de Ocaña, mediante la aplicación de un caso de estudio, para obtener estándares de calidad con una certificación LEED.

Valorar económicamente, la implementación de la metodología de fachada verde más conveniente para edificaciones de máximo 4 niveles en el municipio de Ocaña, mediante un análisis de costo-beneficio, para conocer la viabilidad económica del método de fachada propuesto.

1.4 Justificación

El alcance del proyecto consiste en realizar un análisis sobre los diferentes beneficios, costos, y modelo constructivo necesario para la implementación del uso de fachadas verdes como técnica constructiva sostenible aplicado a edificaciones nuevas o existentes dentro del área urbana del municipio de Ocaña Norte de Santander.

Según Banoy y Osorio (2021) el uso de fachadas verdes, mejora el medio ambiente en general proporcionando beneficios ecosistémicos, como un mejor confort habitacional, calidad del aire y una mayor diversidad de la avifauna entre otros; en la investigación realizada por Banoy y Osorio, estudian el costo beneficio del uso de fachadas verdes tomando como caso de estudio el proyecto Cubo verdes, correspondiente al auditorio Himerio Pérez López ubicado en Medellín de las Empresas Públicas de Medellín (E.P.M.) – Colombia, concluyendo que el proyecto es viable en un horizonte de 30 años.

Por lo anterior, es importante resaltar que existen proyectos de investigación, que relacionan el costo-beneficio de una fachada verde a gran escala, sin embardo, no existe este mismo análisis para proyectos de menor envergadura, como lo es el caso de edificaciones

pequeñas no mayores de 4 niveles para la región de Norte de Santander, motivo por el por medio de la presente investigación, se plantea como resultado, la opción de fachada verde más viable para las edificaciones de máximo 4 niveles el Municipio de Ocaña, Norte de Santander, en donde se identifica y valora económicamente, la implementación de la metodología de fachada verde más conveniente, en cuanto a la accesibilidad de materiales, costos, beneficios, rentabilidad, análisis de riegos y factibilidad a largo plazo.

De acuerdo al Observatorio Ambiental Bogotá (2023), las cubiertas y fachadas verdes, constituyen una mezcla de lo ecológico con lo urbano, aportando una serie de ventajas al medio ambiente y a las poblaciones locales. Entre esas ventajas figuran la mejora de la calidad del aire, el control de la temperatura interior, la conservación de la biodiversidad y el valor estético y paisajístico gracias al embellecimiento urbano.

Con relación a los antecedentes de la aplicación del uso de fachadas verdes, se puede apreciar para el caso de Bogotá, según el Observatorio Ambiental de Bogotá (2023) el área reverdecida en m2, para el año 2020 fue de 2.500 m2, para el año 2021 fue de 6.040 m2 y para el año 2022 se presentó un total de 11.102 m2 lo que demuestra que el uso de esta metodología si contribuye al mejoramiento del medio ambiente consolidándose como una práctica sostenible, por lo cual con el desarrollo de la presente investigación, se busca dar a conocer las metodologías más prácticas en cuanto a instalación y acceso a materiales, para implementar una fachada verde en las edificaciones de Ocaña con alturas no mayores de 4 niveles.

El desarrollo de la investigación, también busca poner en contexto, los diferentes parámetros y criterios para el uso de fachadas verdes en edificaciones, basados en marcos normativos a nivel internacional resaltando la norma estándar 55 de la ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado), la norma ISO 7730, y a nivel nacional resaltando la norma NTC 5316. Igualmente se resalta la certificación LEED, el cual "es un certificado otorgado por el USGBC (U.S. Green Building Council) y es de carácter voluntario a nivel mundial". (Terapia Urbana, 2022).

De acuerdo a la investigación realizada por Aurora et al. (2024), en donde se identifican los diferentes tipos de fachadas verdes y las preferencias de plantas utilizadas en la ciudad de Banda Aceh, Indonesia, se concluye que los jardines verticales o fachadas verdes se utilizan con mayor frecuencia en viviendas residenciales y ficus pumilla (planta trepadora) es la planta más utilizada. Con relación al uso de fachadas verdes en el municipio de Ocaña, es una metodología con poco reconocimiento, puesto que no existen empresas en la ciudad que se dediquen a la venta e instalación y mantenimiento de fachadas verdes, no obstante, el desarrollo de la presente investigación, contribuye a acercar más a la comunidad de Ocaña sobre el uso de fachadas verdes, planteando una propuesta concreta para un caso de estudio (edificación de 4 niveles) y definiendo el costo beneficio de la misma.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación Geográfica

La delimitación geográfica se especifica para la zona del municipio de Ocaña, en donde se hace el análisis del caso de estudio para evaluar el tipo de fachada verde más conveniente,

teniendo en cuenta las condiciones medioambientales propia de la Región de Ocaña, Norte de Santander.

1.5.2 Delimitación Temporal

Se estima para el desarrollo de la investigación una duración de cinco (5) meses calendario contados a partir de la fecha de aprobación de la propuesta.

1.5.3 Delimitación conceptual

El tema de investigación se establece dentro de los términos de construcciones verdes, fachadas vedes, confort interno, capacidad termina, análisis económico, viabilidad económica, estándar LEED, fachadas verdes deslizantes, sistema de paneles vegetados, construcción ecológica, Sistema de cables trenzados, Enrejados modulares, Fachadas vegetales de invernadero, Fachadas con sistemas de plantas precultivadas, Sistemas Hidropónicos, Hormigón Vegetal y demás conceptos relacionados con el tema de estudio.

1.5.4 Delimitación Operativa

El desarrollo consiste inicialmente en la documentación y análisis de información respecto a las diferentes metodologías utilizadas para la implementación de fachadas verdes en edificaciones considerando además los diferentes parámetros y criterios normativos que puedan aplicar, obteniendo así, el método más conveniente para aplicarlo en la edificación urbana de

máximo tres niveles, en el municipio de Ocaña. Previo a conocer las distintas metodologías de fachadas verdes, se realiza una evaluación técnico ambiental, identificando las diferentes variables que se puedan evaluar como la capacidad térmica, la reducción de la huella de carbono entre otros, beneficios del uso de fachadas verdes. La evaluación de estas variables tiene como finalidad identificar y establecer un sello de sostenibilidad mediante una certificación LEED, el cual consiste en una clasificación sistemática de las cualidades ecológicas de una edificación y se aplica a un caso de estudio en específico, para evaluar la fachada propuesta. Posteriormente, luego de verificar que el uso de la fachada verde seleccionada si cumple con estándares de calidad se realiza una valoración económica, mediante un análisis de costo beneficio para conocer la viabilidad económica del uso de fachas verdes en la construcción de edificaciones en el Municipio de Ocaña.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco Histórico

2.1.1 Antecedentes

En lo que respecta a investigaciones relevantes que se relacionan con el uso de fachadas verdes como propuesta sostenible para las edificaciones, se enmarcan las siguientes:

Con relación a antecedentes a nivel internacional, se menciona la investigación realizada por Suárez et al. (2023), en Argentina, en donde se "evalúa el comportamiento térmico estacional de Fachadas Verdes Tradicionales (FVT)", tanto en los espacios y áreas internas y externas desarrollando un ensayo experimental en condiciones controladas y monitoreando variables de temperatura ambiente durante 2 períodos de 7 días, obteniendo como resultado de la investigación diferencias de temperatura entre los muros con cubierta vegetal y el muro de control, alcanzando magnitudes de hasta 0,8 °C de aumento de la temperatura ambiente interior durante el invierno, 4,4 °C de descenso de la temperatura ambiente en verano y 3,9 °C de disminución de la temperatura ambiente exterior durante la estación cálida. Lo que demuestra que el uso de fachadas verdes puede favorecer el ahorro de energía en los hogares y reducir las temperaturas a escala urbana en las ciudades de clima seco.

Las fachadas verdes para edificaciones, además de tener beneficios climáticos, también puede representar beneficios para el sostenimiento de la biodiversidad, por lo que en este caso se menciona la investigación realizada por Moya S. (2023), en donde se realiza un estudio basado

en la observación para buscar analizar los potenciales beneficios productivos y de biodiversidad de un extenso muro verde “tradicional” ubicado en la parroquia Conocoto en la ciudad de Quitós, Ecuador. Para ello se describen detalladamente las características del entorno, la planta y las condiciones de su desarrollo, así como de las especies o seres vivos que puedan atraer las coberturas vegetales.

En lo que respecta al uso de fachadas verdes, se debe conocer cuál es su capacidad térmica o su implicación en la mitigación del calor, por lo que es importante mencionar la investigación realizada por Quiroa et al. (2021), en donde se realizó un análisis experimental sobre el comportamiento térmico y el potencial de mitigación climática de un techo verde instalado en una vivienda VIS en Torreón, Coahuila, México. Se utilizó un equipo HOBO U12 para registrar la temperatura interior, y un sensor HOBO Pro V2 con un refugio protector exterior para captar la temperatura exterior. De acuerdo con los datos recabados, la azotea verde en la vivienda analizada es una tecnología que, además de mejorar las condiciones térmicas, demuestra ser una estrategia efectiva de mitigación climática para su aplicación en viviendas nuevas o existentes en la zona. Es similar a los módulos a escala utilizados en un proyecto anterior.

Con relación a investigaciones realizadas a nivel nacional y en concordancia con el alcance de la presente investigación, es importante mencionar el estudio realizado por Banoy & Osorio (2021), en donde realizan un estudio del costo-beneficio a la aplicación de coberturas Verdes aplicado a un asunto de estudio denominado: “Proyecto Cubo Verde correspondiente al

auditorio Himero Pérez Lopez de las Empresas Públicas de Medellín" (EPM), ubicado en Medellín, Colombia.

En lo que respecta a la implementación del uso de fachadas verdes se resalta la investigación realizada por Patiño & Garcia (2019), la cual se titula "Metodología de construcción de cubiertas y fachadas verdes para uso de huertas urbanas en Bucaramanga", en donde se concluye que es técnicamente viable el uso de fachadas con cobertura vegetal adaptable según su técnica constructiva, teniendo en cuenta que las condiciones bioclimáticas de la ciudad de Bucaramanga se prestan para varias especies vegetales que se dan en el departamento de Santander.

A nivel local, con relación a la región de Ocaña, se menciona la investigación realizada por Castillo et al. (2021), en donde hacen un "diseño de un prototipo de vivienda de interés social sostenible para el sector urbano de Ocaña", la cual a pesar de que no se relaciona directamente con el uso de fachadas verdes, si tiene el mismo propósito que corresponde a desarrollar construcciones con miras a una mayor sostenibilidad.

De acuerdo a lo anterior, teniendo en cuenta que hay suficiente información relevante relacionado al tema de investigación, a la fecha no se aprecia un estudio que contemple las diferentes tipologías de fachada y el uso más conveniente a aplicar en Ocaña, motivo por el cual se hace necesario el desarrollo de esta investigación.

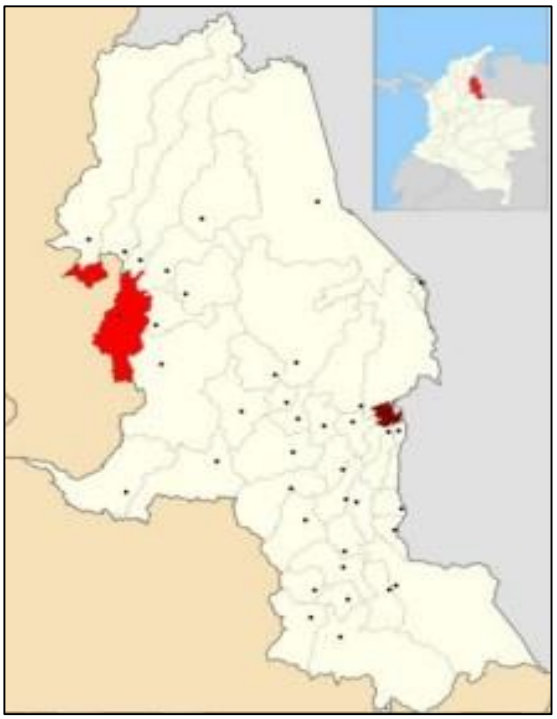
2.2 Marco contextual

El análisis de la implementación del uso de fachadas verdes en edificaciones de máximo 4 niveles que contempla el desarrollo de la presente investigación, se encuentra delimitado específicamente para las condiciones climáticas, atmosféricas, sociales, económicas y ambientales del área urbana de la Ciudad de Ocaña Norte de Santander.

El desarrollo de la investigación contempla un rango de acción limitado especificado para el "Municipio de Ocaña, Norte de Santander. Ocaña está situada a 8° 14' 15" Latitud Norte y 73° 2' 26" Longitud Oeste y su altura sobre el nivel del mar es de 1.202 m" (Gobernación Norte de Santander, 2014). La Provincia de Ocaña tiene un área de 8.602 km². Ver figura 1.

Figura 1

Localización general del municipio de Ocaña, Norte de Santander



Nota. Fuente: MAPNALL (s.f.)

Con relación a la población actual de Ocaña, de acuerdo a la “Asociación de Municipios del Catatumbo, Provincia de Ocaña y Sur del Cesar” [Asomunicipios] (2023), Ocaña cuenta con una población de 129.308 habitantes.

Es importante resaltar que, con el desarrollo del proyecto se contribuye al uso de nuevas tecnologías en la construcción de fachadas verdes para viviendas ubicadas en las condiciones medioambientales y climáticas del municipio de Ocaña, contribuyendo a la disminución de la huella de carbono, y mejorando el rendimiento energético de las viviendas.

2.3 Marco conceptual

Los términos a usar necesarios para el desarrollo de la presente investigación, corresponden a todos los relacionados con el uso del concepto de sostenibilidad y fachadas para viviendas, así como también sobre las condiciones climáticas de la zona de estudio. Los conceptos más relevantes se mencionan a continuación:

2.3.1 Fachada verde

Las fachadas verdes, son sistemas de cubierta de muros y techos que contribuyen con el mejoramiento del conford y hábitat de una vivienda o edificación. Con respecto a su clasificación se consideran fachadas verdes tradicionales, los sistemas que emplean superficies verticales como medio de soporte, y se clasifican según el medio de sujeción tipificándose en:

* Sistema de cables trenzados.
* Enrejados modulares.
* Fachadas vegetales de invernadero.
* Fachas verdes deslizantes.
* Fachas con sistemas de plantas precultivadas.
* Sistemas Hidropónicos.
* Hormigón Vegetal.

2.3.2 Sostenibilidad en la construcción

El uso de materiales y métodos que minimicen la producción de residuos, las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, y el uso de recursos naturales forman parte de la construcción sostenible. También tiene por objeto promover la equidad social y económica en el sector de la construcción, así como la salud y el bienestar de quienes residen y trabajan en los edificios. (Pinilla Vera L., 2010)

2.3.3 Equilibrio medioambiental

Es la capacidad de un sistema de mantenerse en equilibrio con el medio ambiente y la sociedad a largo plazo, satisfaciendo las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas. El equilibrio medioambiental lo establece la Ley N° 19.300 de Bases del Medio Ambiente como “el proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación

y protección del medio ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones futuras". (Malaver y Ortiz, 2018).

2.3.4 Eficiencia Energética

Hace referencia al Grado o medida en que un edificio emplea materiales y tecnología que optimizan el rendimiento energético para reducir al mínimo el gasto energético y minimizar su impacto medioambiental.

2.3.5 Ciclo de vida de una edificación

Equivale a las fases que experimenta una estructura desde su inicio hasta su demolición. Es una herramienta que aborda los efectos medioambientales de un producto, en este caso un edificio, y en particular su durabilidad y el mayor ahorro de los materiales necesarios para su edificación, a lo largo de su ciclo de vida. Abarca la planificación, el diseño y la construcción, así como el funcionamiento, el mantenimiento y, finalmente, la demolición o el reciclado. (Hernández S., 2011)

2.3.6 Irradiación horizontal

Se refiere al total de los elementos necesarios para evaluar la cantidad de energía solar en un determinado lugar. Esta cantidad de radiación solar se da en unidades de potencia (unidades de energía por unidad de tiempo, medidas en julios por segundo) por unidad de superficie y se

mide en vatios o kilovatios por metro cuadrado (W/m2). Los valores de energía en función del área dictan las cantidades de radiación expresadas en términos de irradiancia. (Hernández S., 2011)

2.3.7 Radiación Solar

La energía que emite el sol se conoce como radiación solar. Las ondas electromagnéticas, que no necesitan un medio sólido para propagarse, permiten que estas ondas viajen por el espacio en todas direcciones. Este tipo de transmisión de energía se produce cuando las ondas electromagnéticas se crean directamente desde el sol y viajan en todas direcciones. La irradiancia, una medida de la cantidad de energía que llega a la Tierra en una superficie perpendicular por unidad de tiempo y área, es el número que indica cuánta radiación solar llega al planeta. (Chacón et al., 2008).

2.3.8 Certificación sostenible en Colombia

Para que se expida el certificado de construcción sostenible en Colombia, un tercero debe ofrecer una garantía por escrito de que el edificio cumple unos requisitos específicos. Este certificado también debe cumplir criterios específicos relativos a las medidas medioambientales. En la tabla 1 se enumeran las cinco certificaciones que el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible ha aprobado para su uso en la regulación de la sostenibilidad de los proyectos de construcción dentro del territorio colombiano: (Lugo D., 2020)

Tabla 1

Sistema de certificación sostenible para la construcción en Colombia

Sistema de Certificación	Descripción	Requerimientos	Características
LEED	Se hace hincapié en el rendimiento de los edificios, con variantes disponibles para la nueva construcción, los edificios existentes, el funcionamiento y el mantenimiento.	Indicadores globales de desempeño	-Uso Internacional. -Enfoque a materiales y Energía. -Mitigación de cambio climático como enfoque.
HQE	Los criterios que evalúa de este sistema incluyen la energía, parámetros medioambientales, y confort habitacional.	Indicadores de Calidad	-Maleabilidad. -Determinación de cualidades de un proyecto.
BREEAM	Se trata de una herramienta que evalúa los efectos medioambientales de diversos tipos de edificios, tanto nuevos como antiguos, y se centra en su grado de sostenibilidad.	Indicadores globales de desempeño	-Metodología prescriptiva para determinados créditos. -Se ajusta bien a las normas locales. -El método de auditoría carece de flexibilidad.
Edge	Más de 100 países utilizan este programa de código abierto para el diseño de edificios ecológicos. Comparado con el escenario base, EDGE calcula las reducciones y ahorros de emisiones de carbono durante todo el uso del edificio.	Enfoque Energético	-El proyecto no cuenta con una metodología exhaustiva. -No existe una norma mundial a la que se adhiera la línea de base de consumo. -Eficiencia energética de base.
CASA Colombia	Se trata de un proyecto del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), cuyo principal objetivo es dotar al sector de la construcción del país de un recurso que haga más sostenible la edificación de viviendas.	Indicadores globales de desempeño	-Modificado para cumplir la legislación colombiana. -Dar máxima prioridad a la gestión del suelo y al ahorro energético. -Incorpora la responsabilidad social como componente de sostenibilidad. Indicadores de rendimiento mundial.

Nota. Recuperado de Lugo D. (2020).

De acuerdo a la tabla 1, el desarrollo de la investigación comprende la documentación y análisis para la obtención de una certificación LEED, con el uso de fachadas verdes para la edificación de viviendas en Ocaña.

2.4 Marco teórico

De acuerdo al alcance de la investigación el marco teórico requerido para el uso de fachadas verdes como propuesta sostenible para la construcción de edificaciones en la Ciudad de Ocaña, se contempla el conocimiento de las principales variables o características que implica el uso de una fachada verde, en ese orden de ideas, se tienen en cuenta:

La reflectancia solar de la fachada verde en una edificación que según Alchapar y Correa (2015), corresponde a la fracción de la radiación solar incidente que es reflejada por la superficie de un material o elemento constructivo, como una fachada. Esta fracción se expresa como el índice de reflectancia solar y es un valor que varía de 0 a 1, en donde cero significa que es un material muy opaco de poca reflectancia capaz de transmitir el calor absorbido, en este caso se refiere a los colores oscuros, por el contrario, cuando el color es blanco, el índice de reflectancia se aproxima a 1 y significa que el material es capaz de reflectar la luz solar y transmitir poco calor almacenado.

Continuando con la teoría de la reflectancia Solar, la cual se estima su aplicación para el presente trabajo, según Alchapar, et al. (2012), indica que:

> El Índice de reflectancia solar (SRI), mide el calor que almacenaría un material en condiciones ambientales estándar, para superficies con emisividad mayores a 0,01 y temperaturas superficiales menores a 150 °C. Para una superficie expuesta al sol y aislada

por debajo, la temperatura superficial de equilibrio (Ts), se obtiene a partir de la norma ASTM E1980, mediante la siguiente ecuación:

$$Ts = 309{,}07 + \frac{(1066{,}07a - 31{,}98\varepsilon)}{(6{,}7\varepsilon + hc)} - \frac{(890{,}94a^2 + 2153{,}8a\varepsilon)}{(6{,}78\varepsilon + hc)^2}$$

Donde:

a: absorción solar = 1-reflectancia solar.

ε: emisividad térmica.

hc: coeficiente global de convección en unidades de W.m-2.K-1.

Luego, el índice de reflectancia solar SRI, se define mediante la siguiente ecuación:

$$SRI = 100\frac{T_b - Ts}{T_b - T_w}$$

Donde:

Ts: Temperatura superficial en estado estacionario K.

T_b: Temperatura superficial patrón negro K.

T_w: Temperatura superficial patrón blanco K.

Con relación a la reducción de dióxido de Carbono CO2 que conlleva el uso de fachadas verdes, las plantas producen oxígeno a partir del dióxido de carbono y filtran los contaminantes del aire. Una fachada verde de un metro cuadrado emite 1,7 kilogramos de oxígeno y extrae de la

atmósfera 2,3 kilogramos de CO2 al año. La purificación del aire aumenta con una fachada verde (Sempergreen, 2021). Según una investigación realizada en Fráncfort (Alemania), se produce una disminución de entre el 18% y el 17% de la concentración de CO2 junto con una disminución de los contaminantes y las partículas en suspensión, lo que mejora la calidad del aire (Hoyos, 2014). Por otra parte según Ochoa (1999) manifiesta que "la vegetación es un elemento estimable como purificador de la atmósfera urbana, desempeñando varios papeles, unos más eficazmente que otros: como indicador biológico de la presencia de contaminantes peligrosos, como absorción de sustancias contaminantes o bien como filtro de partículas sólidas suspendidas en el aire, además de la producción de oxígeno mediante la fotosíntesis y la depuración bacteriana", así como la disminución de gases de efecto invernadero.

Con respecto a la composición de las fachadas verdes, de acuerdo con Carvajal et al. (2017), Un contenedor metálico rectangular de 30 cm de alto, 30 cm de profundidad y 2 metros de largo es un método para crear una fachada verde. Se fija al muro estructural mediante soportes metálicos en forma de "L". Otro método utiliza una rejilla prefabricada de alambre electrosoldado con acabado de poliéster de 2,50 metros de alto y 2 metros de largo. Se separa 10 centímetros del muro estructural para mantener la superficie seca y se fija en la parte superior. Este tipo de fachada reduce las concentraciones de gases de efecto invernadero al actuar como sumidero natural de carbono.

De acuerdo al párrafo anterior, continuando con la composición de las fachadas verdes, es importante mencionar las especies vegetales que pueden ser empleados para la implementación de las fachadas verdes, pues, Pineda (2018) informa que su investigación arrojó tres especies que

se utilizan comúnmente para la fachada verde. Estas especies son plantas trepadoras que pertenecen a las familias Acanthaceae y Bignoniaceae y pueden alcanzar alturas de hasta 6 metros. Sus raíces fibrosas se extienden sobre un sustrato de tierra suelta y sana, recibiendo mucho sol. Son plantas hermosas que requieren un riego frecuente para evitar el encharcamiento. Con la ayuda de sus espirales estructurales, sus raíces fibrosas les permiten elevarse en busca del sol, enraizándose por el camino.

Con respecto al análisis económico para la implementación de fachadas verdes, según el estudio de Perini y Rosasco (2013) se utilizaron tres métricas para evaluar la viabilidad financiera de varios tipos de sistemas de reverdecimiento vertical: “el valor actual neto (VAN), la tasa interna de rentabilidad (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión (PBP)”. (VAN), el periodo de amortización (PBP) y la tasa interna de rentabilidad (TIR). En la propuesta se incluyen los costes iniciales calculados (instalación), los costes de mantenimiento continuo, los costes de eliminación, el valor del edificio a largo plazo, los beneficios económicos asociados al aumento de los alquileres por el incremento del valor de la propiedad y la demanda del consumo de energía.

Con respecto a la identificación de las plantas utilizadas para la conformación de fachadas verdes, vale la pena mencionar la investigación realizada por Shu et al. (2024), en donde se hace un experimento de campo realizado en el complejo residencial Greenest of the Green de la ciudad de Helsinki capital de Finlandia; en este estudio se evalúa el rendimiento de 12 taxones de plantas potenciales para una fachada vegetada, teniendo en cuenta variables como su apariencia visual, altura del piso, pH del sustrato, e inoculación microbiana. Es importante

destacar que ninguna de las especies de plantas seleccionadas para el estudio, era plantas invasoras o potencialmente invasoras en la región finlandés. Según sus formas de crecimiento, los 12 taxones de plantas se dividieron en 4 grupos: 1) coníferas extendidas que presentan un crecimiento vertical en forma de jarrón, 2) coníferas enanas que presentan una forma globosa con una parte superior plana, 3) coníferas rastreras que presentan un crecimiento horizontal que cubre el suelo, y 4) trepadoras. Los principales resultados de esta investigación, los cuales son relevantes para el desarrollo del presente trabajo, se desglosan a continuación:

-Las plantas coníferas prosperaron durante la etapa de establecimiento en las fachadas de los edificios, mientras que las trepadoras, aunque se usan comúnmente en la ecologización vertical en otras regiones, no rindieron como se esperaba en el clima nórdico.

-La exposición excesiva al viento y al sol daña la apariencia visual y el tamaño de las plantas. La mayoría de los modelos sugieren un mayor tamaño de planta en la fachada orientada al este que está protegida de la dirección predominante del viento y del sol más caliente de la tarde.

-La inoculación micorrízica parece influir en la apariencia visual de la planta, pero con impactos mixtos: mejora la apariencia visual de P. abies 'Echiniformis' mientras que perjudica la de J. communis '115'.

-Se deben tener en cuenta condiciones microclimaticas sobre un edificio en particular para lograr una construcción exitosa de fachada con vegetación.

2.5 Marco legal

De acuerdo a la índole de la investigación, el marco legal aplicable corresponde a:

Norma Técnica Colombiana NTC 5930, la cual establece los requisitos mínimos para la construcción sostenible en Colombia. Esta norma establece los criterios y los requisitos para la sostenibilidad en edificios y establece diferentes categorías de certificación, incluyendo certificación de fachadas verdes o fachadas vegetales.

Decreto 1077 de 2015: Por el cual se establecen las condiciones para la gestión integral de residuos en Colombia, incluyendo la gestión de residuos de construcción y demolición. Esto puede incluir la gestión de residuos generados durante la construcción de fachadas sostenibles.

Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio establece: Por medio de la presente resolución se aprueba la guía de porcentajes mínimos y medidas de ahorro de energía y agua en edificaciones nuevas y se establecen las normas y principios para la construcción sostenible.

Decreto 1285 de 2015. Por el cual se establecen las normas de construcción sostenible para edificaciones con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los ocupantes y fomentar la adopción de comportamientos social y ambientalmente responsables. A la inversa, habla de los requisitos mínimos para producir una ingeniería sostenible: 1. Una proporción requerida de energía y agua en función del tipo de edificio y el entorno. 2. Una estrategia de aplicación

gradual para la zona en función de la población de los municipios. 3. El proceso por el que se certifica la aplicación de las medidas. 4. El proceso y los equipos de seguimiento y gestión de la ejecución de las medidas. 5. Fomento por parte del gobierno local.

La norma técnica ISO 15686 hace referencia a la planificación del ciclo de vida en los edificios y describe cómo podemos integrar la planificación del ciclo de vida en el proceso de diseño del edificio; Por ejemplo, la norma ISO 15686-6 describe el proceso para tener en cuenta y evaluar los impactos ambientales y su relación con la evaluación del ciclo de vida del edificio, que evalúa los impactos ambientales del edificio a lo largo de todo su ciclo de vida, pero especialmente durante su vida útil (fase de uso, funcionamiento y mantenimiento del edificio hasta el final de su vida útil).

Con respecto a Normas Internacionales, se destaca la N**orma ASTM D1980,** la cual cubre el cálculo del índice de reflectancia solar (SRI) de superficies opacas horizontales y de baja pendiente en condiciones estándar. El método tiene como objetivo calcular el SRI para superficies con emisiones superiores a 0,1.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Diseño Metodológico

El desarrollo del proyecto corresponde una investigación cualitativa de tipo descriptiva, ya que se basa en el análisis para la implementación del uso de fachadas verdes en las edificaciones de máximo 4 niveles especificadas para el municipio de Ocaña, Norte de Santander, en donde se espera evaluar el método más conveniente de fachada verde que aporte a la sostenibilidad y represente mayor utilidad en cuanto al costo-beneficio.

3.2 Seguimiento metodológico del proyecto

En la tabla 2, se puede apreciar el modelo metodológico para el desarrollo de la investigación.

Tabla 2

Modelo Metodológico

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	ACTIVIDADES POR OBJETIVO	INDICADOR POR ACTIVIDAD
Realizar un análisis de las diferentes tipologías de fachadas verdes en edificaciones mediante una revisión documental para definir el método más conveniente en la construcción de edificaciones de máximo 4 niveles en el municipio de Ocaña.	Identificar y documentar los diferentes tipos de fachadas verdes utilizadas en Colombia	Tipologías de fachadas verdes.
	Clasificar el uso de fachadas de acuerdo al tipo de edificación y condición climática.	Condiciones atmosféricas y medioambientales para cada tipo de fachada verde aplicable en Colombia.
	Establecer las ventajas y desventajas que conlleva la implementación de fachadas verdes en viviendas.	Conocer los parámetros, y dificultades que representa la aplicación de la fachada verdes y las actividades necesarias a que refiere

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	ACTIVIDADES POR OBJETIVO	INDICADOR POR ACTIVIDAD
Evaluar el método de fachada verde más conveniente para edificaciones de máximo 4 niveles en el municipio de Ocaña, mediante la aplicación de un caso de estudio, para obtener estándares de calidad con una certificación LEED.	Establecer los criterios y parámetros necesarios para la certificación LEED	Identificar el procedimiento necesario para una certificación LEED.
	Establecer el método de fachada verde más conveniente para el área urbana del municipio de Ocaña	Identificar el tipo de fachada verde a utilizar de acuerdo a la facilidad de acceso tanto al proceso constructivo como materiales.
	Evaluar mediante la aplicación de un caso de estudio el tipo de fachada verde seleccionado por su conveniencia.	Aplicación de la fachada verde a un caso de estudio definiendo el procedimiento constructivo y su injerencia en la sostenibilidad.
Valorar económicamente, la implementación de la metodología de fachada verde más conveniente para edificaciones de máximo 4 niveles en el municipio de Ocaña, mediante un análisis de costo-beneficio, para conocer la viabilidad económica del método de fachada propuesto.	Realizar cotizaciones de mano de obra y materiales necesarios para la aplicación de las fachadas verdes en Ocaña.	Listado de costos de las diferentes actividades relacionadas para la aplicación de la fachada verde en Ocaña.
	Establecer los costos que representa la aplicación del método de fachada verde aplicado en el caso de estudio evaluado.	Definir todos los costos involucrados para la aplicación del tipo de fachada verde seleccionado para aplicar en Ocaña.
	Evaluar el costo-beneficio del uso de la fachada verde en la vivienda o edificación de máximo 4 niveles en el área urbana de Ocaña.	Conocer la viabilidad económica de la opción de fachada verde seleccionada para el municipio de Ocaña.

Nota. Elaborado por Autor propio.

3.3 Población

La población objeto de estudio para el caso de la presente investigación, corresponde a las edificaciones nuevas y existentes que no superen los 4 niveles establecido solo para el área urbana del Municipio de Ocaña, Norte de Santander.

3.4 Muestra

Se establece un muestreo no probabilístico de Tipo Intencional, en donde se define la muestra correspondiente a un proyecto de vivienda seleccionada como caso de estudio y establecida dentro del área urbana del municipio de Ocaña, con el fin de evaluar de manera teórica, la viabilidad económica y sostenible para definir la tipología de fachada verde mas conveniente en cuanto al costo-beneficio y aporte sostenible de la región.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de información

La documentación: Se realizará la respectiva documentación sobre las diferentes tipologías de fachadas verdes que se emplean en todo el territorio colombiano y que pueden aplicarse al caso de estudio. Igualmente se indagará sobre los precios de mano de obra e implementación del proceso constructivo para la aplicación de la fachada verde, así como la representación en la reducción del consumo energético gracias al uso de las fachadas verdes.

3.6 Análisis de información

Para el análisis de la documentación recopilada se espera realizar un análisis costo-beneficio sobre el uso de fachada verde más conveniente, en donde para definir el método más conveniente, se debe evaluar primero la factibilidad del proceso constructivo. Además, como parte del análisis de la información, se espera definir con el uso de fachadas verdes, los parámetros necesarios para la certificación LEED en edificaciones nuevas.

Capítulo 4. Desarrollo de la Investigación

4.1 Análisis de las diferentes tipologías de fachadas verdes en edificaciones mediante una revisión documental para definir el método más conveniente en la construcción de edificaciones de máximo 4 niveles en el municipio de Ocaña

El desarrollo del presente literal 4.1, corresponde al compendio y análisis de información de investigaciones de fuentes confiables, sobre el uso de las diferentes tipologías de fachadas verdes que pueden aplicarse a una edificación, para lo cual se tienen en cuenta tipologías de fachadas verdes empleadas en Colombia, al igual que otras tipologías utilizadas a nivel mundial.

4.1.1 Tipologías de fachadas verdes

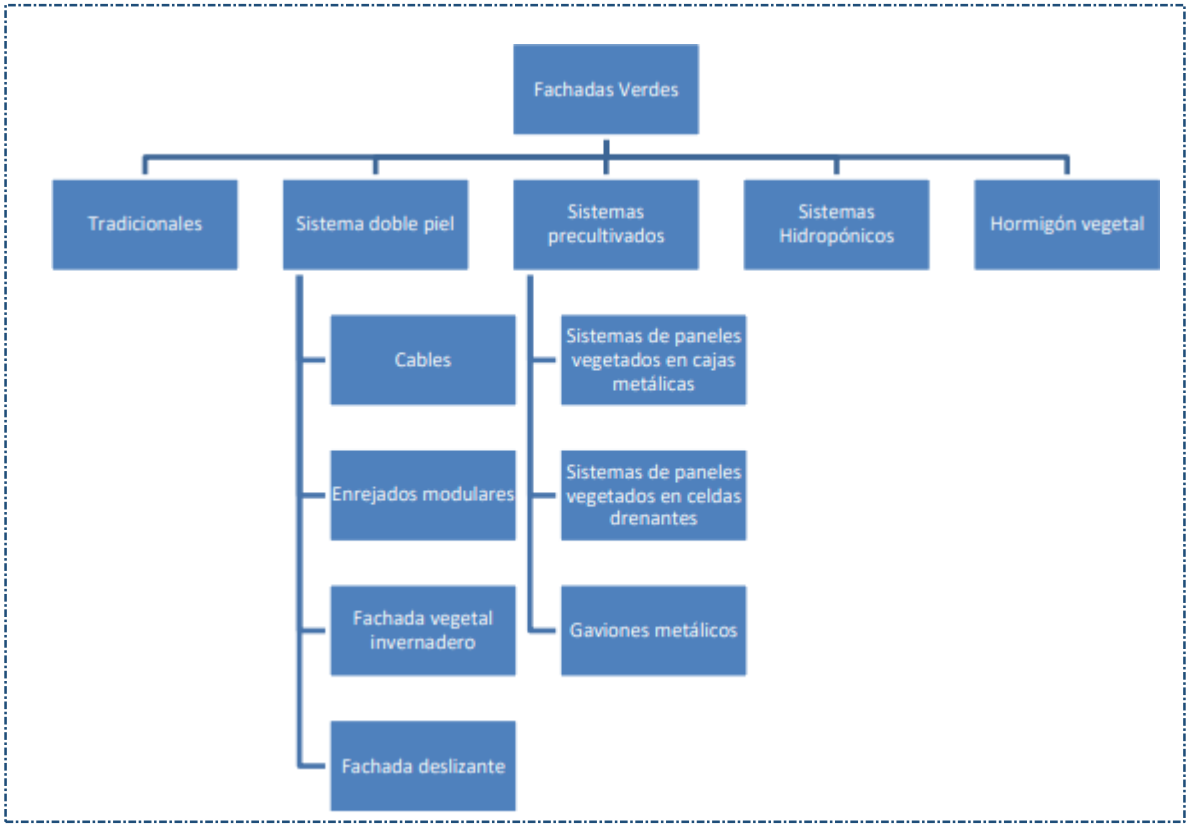
Para abordar la clasificación y uso de fachadas verdes, es importante mencionar que las tipologías de fachadas verdes o también llamados jardines verticales puede depender de diferentes factores como es el caso de su sistema constructivo, tipo de planta utilizada, tipo de mantenimiento, elementos complementarios de instalación, tipo de sustrato entre otros. Las fachadas verdes se caracterizan por usar plantas trepadoras o colgantes que cubren un área determinada. Según Suarez et al. (2020), los tipos de fachadas verdes se pueden clasificar en Fachadas tradicionales, fachadas doble piel y fachadas de macetas perimetrales.

Otro Autor como es el caso de Seguel (2019), clasifica los tipos de fachadas verdes según su sistema en: fachadas tradicionales, fachadas doble piel, sistemas precultivados, sistemas

hidropónicos y hormigón vegetal, del cual se desglosan diferentes metodologías de implementación de fachadas verdes, las cuales se pueden apreciar en la siguiente figura 2.

Figura 2

Sistemas de fachadas verdes



Nota. Tomado de Seguel (2019).

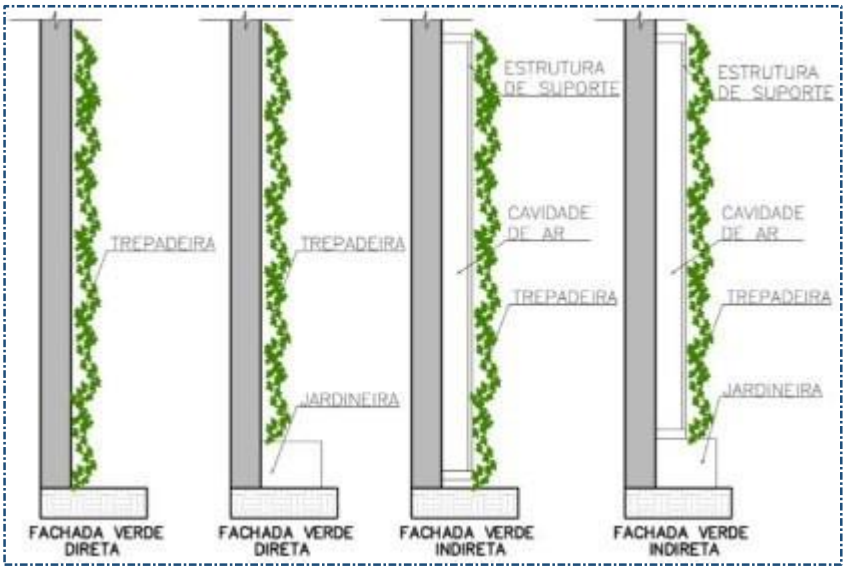
De acuerdo la figura 2, se puede observar que los sistemas doble piel hacen referencia a los tipos de fachadas que requieren de una estructura sobrepuesta para conformar la fachada verde, los sistemas de paneles precultivados que son muy similares a los sistemas doble piel.

Según Muñoz et al. (2019), define las tipologías de fachadas como fachadas directas e indirectas, en donde las fachadas directas hacen referencia a las fachadas tradicionales que

utiliza plantas trepadoras que se adhiere directamente al muro en mampostería o concreto sin afectar la resistencia del muro y formando una cobertura vegetal, puede crecer directamente del suelo o usando macetas; y con respecto a fachadas indirectas corresponden a las fachadas doble piel o sistemas de fachadas que requieren de una estructura o sistema adicional para conformar la fachada vegetada. En la siguiente figura 3 se pueden apreciar los tipos de fachadas directas e indirectas definidos por Muñoz et al. (2019).

Figura 3

Sistemas de fachadas verdes directas e indirectas



Nota. Tomado de Muñoz et al. (2019).

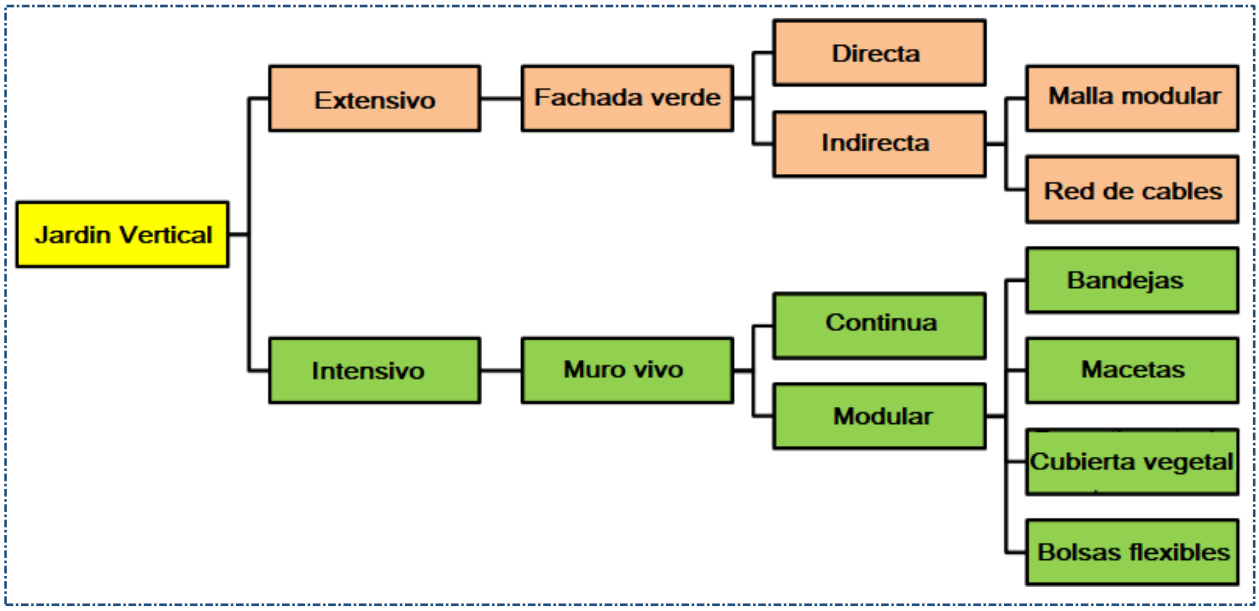
De acuerdo a la figura 3, se puede apreciar que ambos sistemas que se resaltan en la investigación de Muñoz et al. (2019), tanto directos como indirectos, están enfocados para el uso de plantas trepadoras también llamadas enredaderas endémicas.

Por otra parte, Medina (2024), define las tipologías de fachadas en dos grandes grupos que corresponden a fachadas intensivas y extensivas. Las fachadas intensivas o también llamadas

muros vivos, hace referencia a los sistemas de fachadas indirecta o doble piel, que requieren de una estructura y son sobre impuestas o ancladas en el muro utilizando módulos, estructura metálica, estructura plástica, membranas geotextiles, entre otros. Por el contrario, las fachadas verdes extensivas son sistemas tradicionales donde la vegetación crece libremente desde el suelo hasta las fachadas, requieren de poca agua, son sistemas ligeros y no requieren de una estructura adicional, aunque se pueden instalar guayas verticales o en malla para guiar las plantas trepadoras sobre la fachada. Ver en figura 4.

Figura 4

Tipologías de fachadas Intensivo y Extensivo

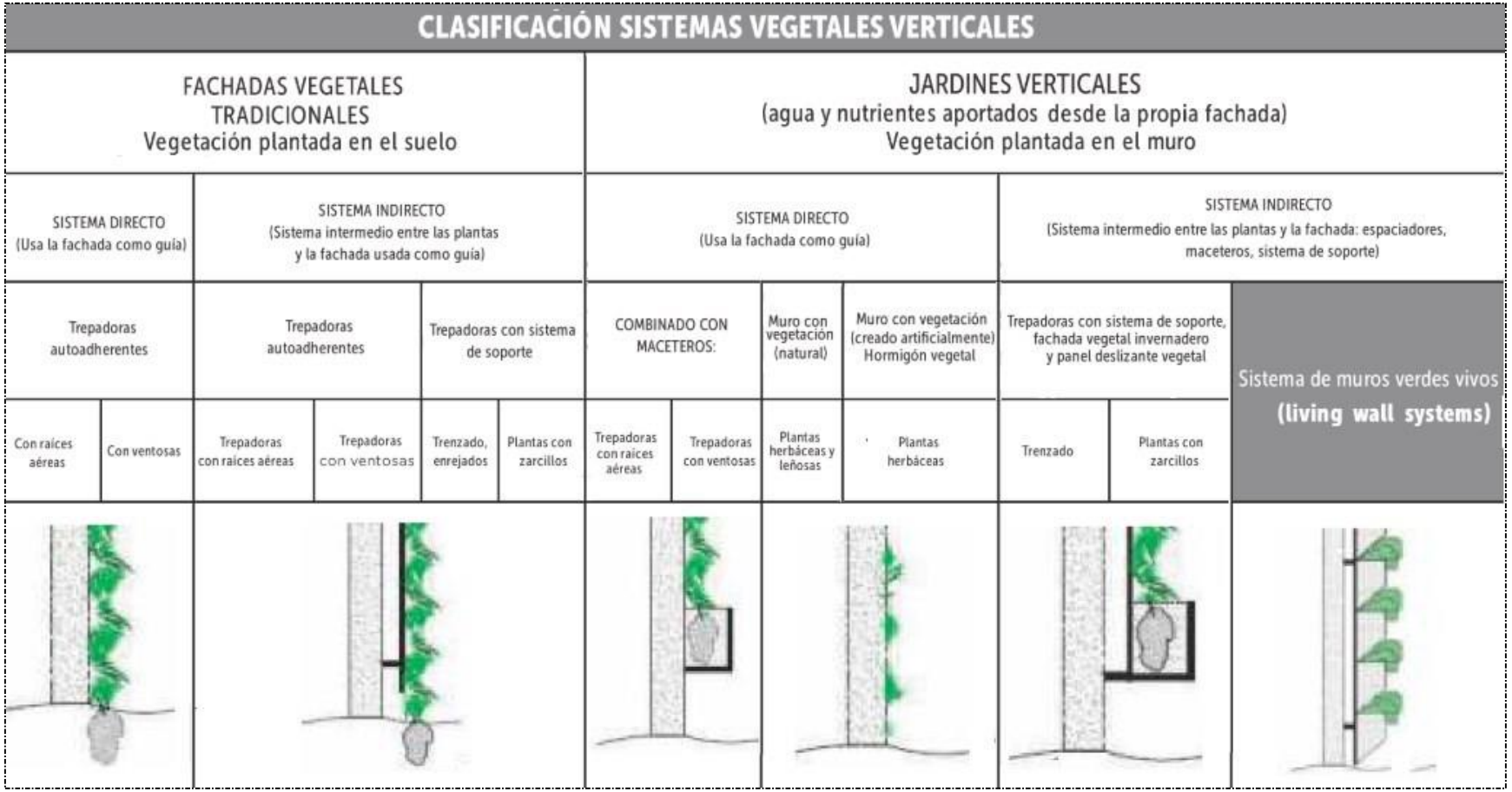


Nota. Tomado de Cruciol y Fontes (2016)

De acuerdo a la clasificación de las diferentes tipologías de fachadas verdes según los autores mencionados a nivel internacional, se puede observar que existe relación entre los diferentes sistemas de fachada verde. A nivel nacional, según la secretaria Distrital de Ambiente (2023) en la figura 5, se observa la clasificación según su sistema vegetal vertical.

Figura 5

Tipologías de fachadas según su sistema vegetal



Nota. La figura muestra un cuadro de clasificación de sistemas de fachadas vegetadas, tomado de la Guía práctica "Infraestructura vegetada Techos Verdes y Jardines Verticales", de la secretaria Distrital de Ambiente de la Alcaldía Mayor de Bogota D.C. (2023).

De acuerdo a la figura 5, en vista de que existen diversas técnicas y metodologías de fachadas vegetadas a nivel nacional e internacional, a continuación, se describen las tipologías de fachadas más utilizadas en Colombia, teniendo en cuenta los sistemas convencionales asequibles de acuerdo a las diferentes empresas en el país que se dedican a comercializar fachadas verdes o que cuentan con metodologías o sistemas de fachadas con materiales o instrumentos patentados, y de las cuales son relevantes para la definición del tipo de fachada más conveniente para edificaciones en el municipio de Ocaña Norte de Santander.

4.1.1.1 Sistema de fachada con red de cables. Hace referencia a un sistema extensivo indirecto de fachada verde, el cual está compuesto por cables o guayas de acero inoxidable, el cual cuenta con un sistema de anclaje formando una cuadricula o líneas verticales por donde se adhiere la planta trepadora. Este sistema de fachada sirve con plantas trepadoras. Ver figura 6.

Figura 6

Aplicación sistema de fachada con red de cables

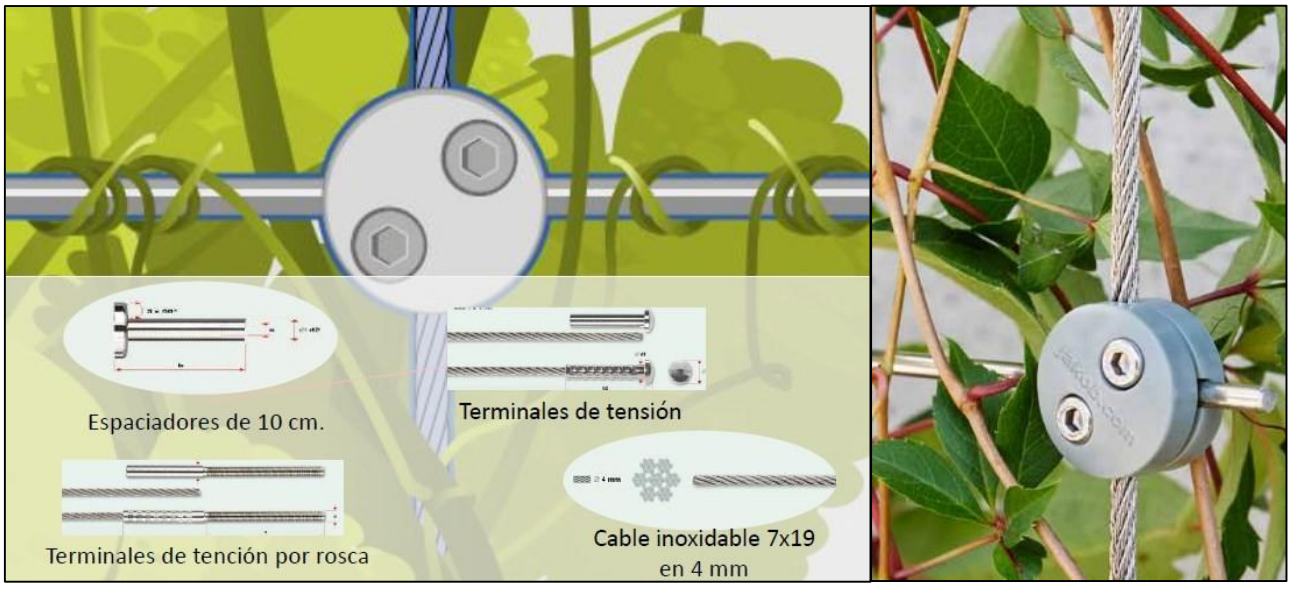


Nota. Jardín vertical con guayas verticales, de 4 mm, proyecto: Muro Verde Bodega Carlos Nieto, Bogota. Fuente: Ciclo SAS, 2024.

De acuerdo a la figura 6, se puede observar un ejemplo de la fachada con red de cables verticales, el cual utiliza el sistema patentado por la empresa a nivel internacional Jakob Rope Systems y distribuido en Colombia por la empresa Ciclo SAS. Con relación a las características de este sistema de fachada, se compone de cables de acero inoxidable, en diámetro de 4mm, estos cables pueden ubicarse espaciadamente entre 25 a 40 cm según diseño, y se sujetan al muro mediante espaciadores que van anclados al muro y tienen una longitud de 10 a 20 cm el cual corresponde al espacio entre el muro y cables, los cuales sirven para transferir la fuerza máxima aplicada a la cabeza del espaciado, generada por tención de los cables y movimientos de la planta. Este sistema de cables cuenta con tensores individuales de rosca y terminales en acero inoxidable, además que cuenta con Corss Clamp el cual es una guía para cables que sirve para mantener la forma de cuadricula cuando el sistema es de cables en cuadricula. Ver figura 7.

Figura 7

Características del sistema de fachada verde con red de cables



Nota. Características el sistema de fachada con red de cables, utilizando el sistema Jakob.

Fuente: Jakob Rope Systems (2021)

Es importante mencionar que este método de cables tensados, utiliza guayas de acero inoxidable, ya que están expuestas a la corrosión, pues existen otros métodos en donde se emplean guayas de acero galvanizado, las cuales con el tiempo se oxidan y ocasionan que las guayas se destensionen. Para el caso del sistema de guayas en acero inoxidable fabricados por la empresa Jakob Rope Systems, se utilizan tensores para el tensionamiento de guayas, los cuales se pueden apreciar en la figura 8.

Figura 8

Tensores para el tensionamiento de guayas de fachadas verdes



Nota. La figura muestra el sistema de tensores para el tensionamiento de guayas.

Fuente: Jakob Rope Systems (2021)

Con respecto a los tipos de plantas vegetales y sustratos para la instalación de fachadas con red de guayas, es importante resaltar que esta metodología solo se puede emplear con plantas trepadoras, como la buganvilla, parra virgen, falso jazmín, entre otras, las cuales pueden formarse desde el suelo o desde macetas que parten desde el inicio de la fachada verde.

4.1.1.2 Sistema de fachada modular en maceta plástica. Este sistema consiste en anclar al muro una serie de macetas plásticas por módulos, las cuales sostienen el sustrato y la planta, además permiten la filtración de agua y requiere de un sistema de riego por goteo para la hidratación de las plantas, este sistema no utiliza plantas trepadoras, por el contrario, utiliza plantas colgantes de bajo crecimiento u ornamentales resistentes al sol. En Colombia, existen varias empresas que comercializan este tipo de fachada, como lo es el caso de la empresa Helechos SAS, que venden el sistema completo incluido la instalación de este tipo de fachadas, igualmente existen otras empresas como Homecenter, la cual vende los instrumentos y materiales necesarios por separado para desarrollar una fachada verde modular en maceta plástica.

Con relación al tipo de maceta utilizada, dado que es una alternativa que contribuye a la sostenibilidad, se fabrican de plástico reciclado, por lo cual en el mercado nacional también se conocen como ecomatera. Para el caso de la empresa Colombiana Helecho SAS, se conoce como modulo Canguru, el cual es 100% fabricado en plástico reciclado y tiene unas dimensiones de 45cm de ancho, 10cm de alto y 10cm de profundidad y el peso por metro cuadrado de este sistema es de 35kg cuando el sustrato se encuentra totalmente saturado. En la figura 9, se observa el módulo canguro para una fachada verde modula en maceta.

Figura 9

Módulo de maceta plástica tipo Canguru



Nota. Tomado de Helecho SAS (s.f.)

Según la figura 9, el sistema de módulos en macetas plásticas, sus características dependen del fabricante, puesto que para el caso de otras empresas como lo es Groncol, este sistema tiene módulos con dimensiones de 44cm de largo, 18cm de ancho y 16cm de alto, lo que genera un peso máximo por metro cuadrado de 75 kg, cuando el sustrato se encuentra totalmente saturado. A diferencia del sistema Canguru, el sistema de jardín vertical modular con macetas de plástico reciclado propuesta por la empresa Groncol, no permite el flujo de agua por gravedad, es decir la maceta plástica es totalmente cerrada sin perforación inferior, generando un contenedor autónomo que reserva el agua hasta dos semanas dependiendo del clima, de igual forma para este sistema si es obligatorio contar con un sistema de riego por goteo manual o automatizado. Ver figura 10

Figura 10

Aplicación sistema de fachada modular con macetas plásticas



Nota. La figura muestra la fachada verde en el Edificio Teleport Business Park, en el norte de la ciudad de Bogotá. Tomado de Helecho (2015)

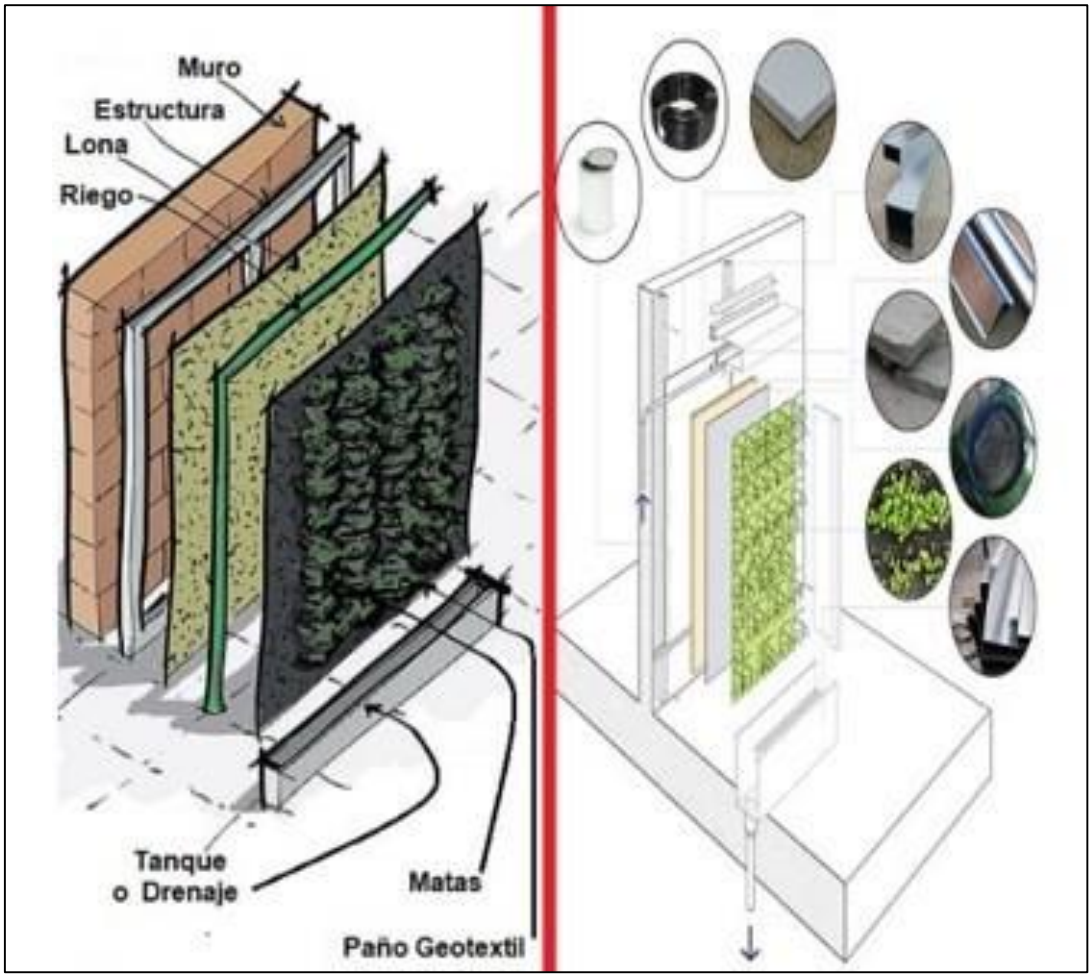
Según la figura 10, se observa una franja horizontal en el primer piso con fachada verde formado por diferentes especies en franjas horizontales y utilizando el sistema o modulo Canguru.

4.1.1.3 Sistema de fachada modular en bolsillo o bolsa flexible. Este tipo de fachada al igual que el anterior, corresponde a un sistema que funciona como contenedor para mantener el sustrato necesario para que la planta se pueda desarrollar. El sistema modular de bolsillos se compone de fieltro, o lana de coco o paño geotextil el cual es anclado al muro directamente.

De acuerdo a los diferentes fabricante y empresas que distribuyen e instalan este tipo de fachadas, también varían sus características, en cuanto a dimensiones del módulo, numero de bolsillos por modulo y sistema de anclaje al muro de forma directa o utilizando una estructura metálica para instalar el módulo, al igual que el material aislante o lona impermeable entre el muro y el sistema modular de bolsillo. En la figura 11, se puede apreciar un esquema de fachada modular en bolsillos, según la empresa Colombiana Gota Terra SAS.

Figura 11

Esquema de fachada modular en bolsillos



Nota. Tomado de Gota Terra SAS (2024)

De acuerdo a la figura 11, los componentes que forman una fachada verde modular en bolsillos, según el sistema ofrecido por Gota Terra SAS, consta de una canaleta de drenaje galvanizada, tanque de agua de 20 lts, Bomba y temporizadores electrónicos, sistema de tubería para riego por goteo, lona impermeabilizante, y estructura de marco con anclajes para el muro y para el módulo de bolsillos. El módulo de bolsillo según el producto que comercializa Gota Terra SAS, se compone de 24 bolsillo con dimensiones de módulo de 200cm de largo por 75cm de ancho. A continuación, en la figura 12, a manera de ejemplo se puede apreciar una fachada con sistema modular de bolsillos.

Figura 12

Fachada con sistema modular en bolsillos



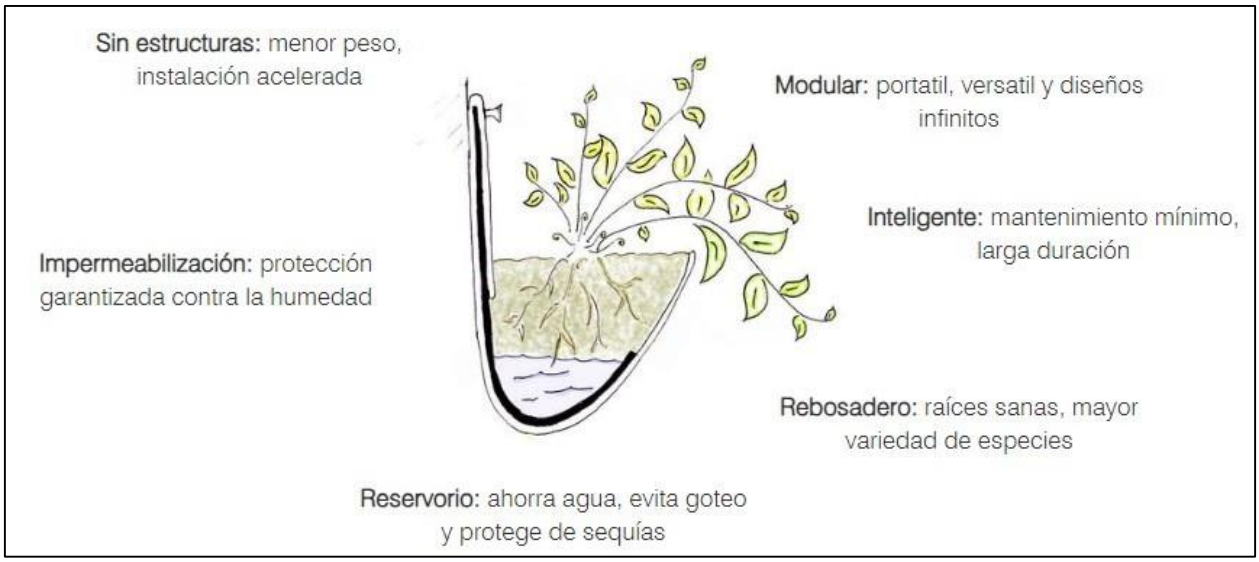
Nota. Tomado de Cruciol y Fontes (2016)

Otros sistemas de fachadas modular en bolsillos corresponden al producto ofertado por la empresa colombiana Vertín SAS, la cual cuenta con un sistema registrado ante la SIC

(Superintendencia de Industria y Comercio) denominado Kanguro Jumbo. En la figura 13 se puede observar el esquema con las ventajas del sistema Kanguro Jumbo ofrecido por la empresa Vertín SAS.

Figura 13

Esquema y ventajas del sistema modular de bolsillo Kanguro Jumbo



Nota. Tomado de Vertín (2023).

Según la figura 13, el sistema de bolsillo Kanguro Jumbo son módulos independientes que se instalan uno a uno, espaciados a lo largo y ancho de la fachada, según diseño preliminar, lo que permite variar su diseño a gusto del cliente, cada módulo se instala con chazos y tornillos, teniendo en cuenta que antes de instalar el módulo, se debe instalar una lona impermeabilizante, este sistema también cuenta con sistema de riego por goteo, y canaleta galvanizada al inicio de la fachada para la recolección de aguas sobrantes por riego. En la figura 14, se puede apreciar un ejemplo de la instalación de una fachada modular de bolsillo utilizando la tecnología Kanguro Jumbo.

Figura 14

Instalación de fachada verde modular de bolsillos tipo Kanguro Jumbo



Nota. Instalación de Jardín Vertical en Puerto Cartagena, Colombia. Tomado de Vertín (2023).

De acuerdo a la figura 14, el sistema modular de bolsillos, hace referencia a uno de los sistemas de fachadas verdes más convencionales, ya que también se pueden conseguir los diferentes materiales por separado en donde existen infinidades de módulos de bolsillos de todas las medidas, tanto para uso interior como para uso exterior.

4.1.1.4 Sistema de fachada modular hidropónico. Es un sistema compuesto por paneles de sustrato inerte, específico para jardinería vertical hidropónica, fijados mecánicamente a paneles impermeables de soporte que se anclan a la pared de soporte. La terminación vegetal se realiza mediante plantación de las especies vegetales seleccionadas, a razón de entre20 a 40 uds/m² en los agujeros existentes en el sustrato. Ver figura 15.

Figura 15

Esquema de fachada modular hidropónica



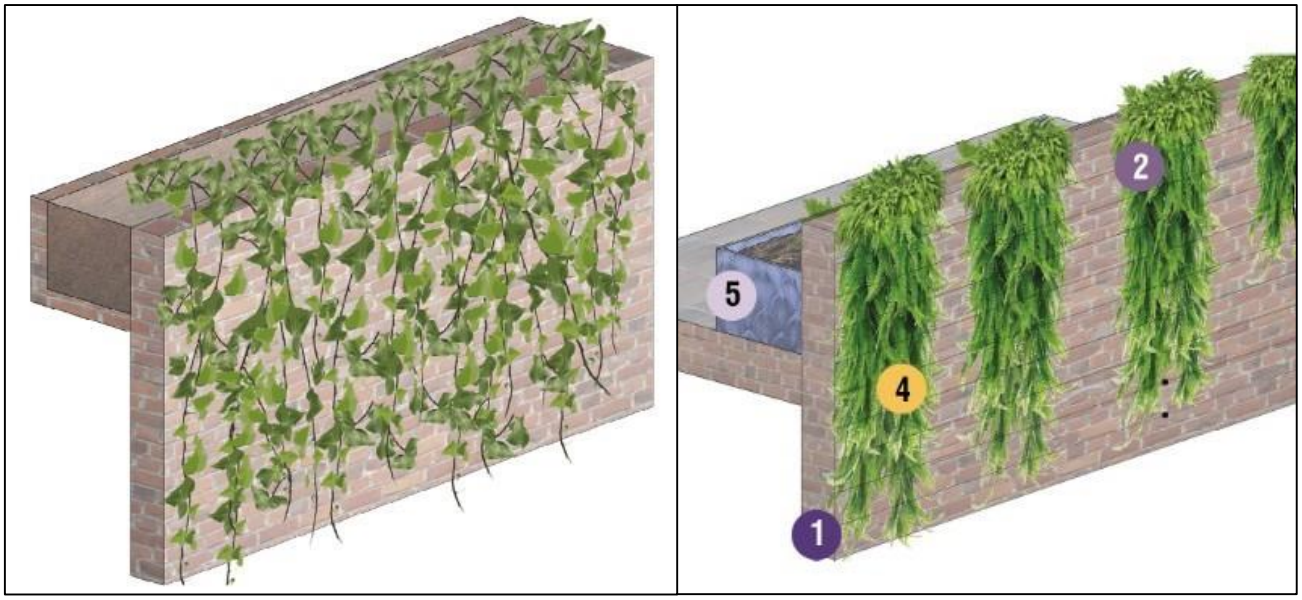
Nota. Tomado de Singular Green (2022).

De acuerdo a la figura 15, el tipo de fachada modular hidropónico, tiene un peso por m2 de 35 kg, e igualmente requiere de un sistema de riego por goteo y una canaleta galvanizada al inicio de la fachada para la recolección del agua y disposición final o recirculación de agua al sistema.

4.1.1.4 Sistema de fachada perimetral. Este sistema de fachada consiste en situar plantas trepadoras o arbustos colgantes en la parte superior del muro que luego de crecer quedan colgantes formando una cortina verde en la fachada. Ver figura 16.

Figura 16

Esquema sistema de fachada perimetral



Nota. Tomado de Medina (2024).

De acuerdo a la figura 16, en la imagen del costado izquierdo, se puede apreciar el sistema de fachada perimetral con plantas trepadoras que crecen a lo largo del muro y en este caso se recomienda el uso de una malla fijada al muro para conservar la adherencia entre la planta trepadora y el muro. Con respecto a la imagen costado derecho de la figura 16 se observa un sistema verde de fachada perimetral, que utiliza plantas de tipo arbustos colgantes, en este caso una de las mas conocidas son los helechos. En el siguiente literal se pueden apreciar la clasificación y taxonomía de las plantas que puede ser aprovechadas para implementarlas en fachadas verdes.

4.1.2 Clasificación de plantas para fachadas verdes

Las plantas utilizadas para fachadas verdes pueden ser de origen nativas, naturalizadas o introducidas, de acuerdo a la Resolución 6619 "Por la cual se establecen las características y condiciones para el diseño e implementación de jardines verticales en el Distrito Capital y se toman otras determinaciones" (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011), la cual es la norma que regula la construcción de jardines verticales en la ciudad de Bogota, ofrece una lista con las especies recomendadas para el uso de fachadas verdes, clasificando su taxonomía de acuerdo a su forma de vida, familia y origen. Ver en tabla 3.

Tabla 3

Taxonomía de plantas recomendadas para fachadas verdes

No.	Nombre científico	Forma de Vida	Familia	Origen
1	Bomaraea hirsuta	Hierba enredadera	Alstromeriaceae	Nativa
2	Smilax tomentosa	Bejuco	Smilacaceae	Nativa
3	Salpicroa tristis	Hierba enredadera	Solanaceae	Nativa
4	Tropaeolum majus	Hierba enredadera	Tropaeolaceae	Nativa
5	Mutisia clematis	Bejuco	Asteraceae	Nativa
6	Mutisia stubeli	Bejuco	Asteraceae	Nativa
7	Bomaraea caldasi	Hierba	Alstromeriaceae	Nativa
8	Alloiespermum caracasanum	Bejuco	Asteraceae	Nativa
9	Bidens rubifolia	Hierba enredadera	Asteraceae	Nativa
10	Tithonia diversifolia	Hierba enredadera	Asteraceae	Nativa
11	Valeriana pavonii	Hierba enredadera	Valerianaceae	Nativa
12	Ipomaea spp.	Hierba enredadera	Convolvulaceae	Nativa
13	Passiflora spp.	Hierba enredadera	Pasifloraceae	Nativa

No.	Nombre científico	Forma de Vida	Familia	Origen
14	Solanum jasminoides	Hierba enredadera	Solanaceae	Introducida
15	Solanum seafortianum	Hierba enredadera	Solanaceae	Introducida
16	Jasminum grandiflorum	Hierba enredadera	Oleaceae	Introducida
17	Pyrostegia venusta	Bejuco	Bignoniaceae	Introducida
18	Tilandsia spp.	Epifitas	Bromeliaceae	Nativa
19	Echeverria bicolor	Hierba	Crasslaceaee	Nativa
20	Plumbago capensis	Hierba enredadera	Plumbaginaceae	
21	Antigonon leptopus	Hierba enredadera	Polygonaceae	Introduci

Nota. Fuente: (Secretaria Distrital de Ambiente, 2011, Resolución 6619, Articulo 6)

De acuerdo a la tabla 3, esta Resolución 6619 de 2011, también recomienda la selección de especies para el diseño de jardines verticales en una asociación de mínimo 60% especies nativas y 40% especies naturalizadas y/o introductorias, esta combinación, para el caso de la ciudad de Bogota, es un requerimiento necesario para la aprobación de licencias para jardines verticales en edificaciones.

Por lo anterior, a continuación, en la tabla 4, se puede apreciar la clasificación de plantas que pueden ser usadas para fachadas verdes, en donde se especifica la tipología, crecimiento y visualización de cada planta, teniendo en cuenta que las plantas detalladas en la tabla 4, no representan la totalidad de las plantas que se pueden usar para fachadas verdes, dado que solo se relacionan las más convencionales y comerciales, además se especifican recomendaciones para el tipo de sistema de fachada al que pueden aplicar. Esta clasificación de plantas utilizadas para fachadas, se realiza en base a diferentes autores y al catálogo de especies vegetales para techos verdes y jardines verticales de la Secretaría de Ambiente de Bogota (2021).

Tabla 4

Clasificación de plantas usadas para fachadas verdes

Nombre de planta	Descripción	Recomendación	Visualización
Helechos	-Nombre científico: Tracheoghyta -Existen diferentes tipos de helechos, como Helecho azul, helecho cola de pez, helecho cuerno de alce, helecho estrella azul, helecho Boston, entre otros. -Tipo de porte: Herbácea -Origen: Nativo de las regiones tropicales de América. -Distancia entre plantas: 40 cm -Cantidad por m2: 9 plantas -Altura máxima: 10 a 15 m -Clima: Cálido y frio	Esta planta se ajusta especialmente para sistema de fachadas perimetrales o colgantes. Igualmente se puede utilizar para sistema modular de macetas plásticas. Los helechos se recomiendan para fachadas que se ubiquen al norte o sur, ya que no son plantas de mucho sol, deben estar en lo posible en sombra.	 Imagen tomada de: Ambientes Sostenibles Productos & Servicios (2024).
Hiedras	-Nombre científico: Hedera Helix -Existen diferentes tipos de hiedras entre los que están hiedra pequeña, hiedra negra, hiedra terrestre. -Tipo de porte: Trepadora -Origen: Nativa. -Distancia entre plantas: 40 cm -Cantidad por m2: 9 plantas -Altura máxima: 14 a 15 m. -Crecimiento por año: 0,2 a 0,3 m. -Clima: Cálido, frio y templado.	Esta planta se conviene para el sistema de fachada perimetral o extensivo, y no requiere de soporte en guayas o malla, ya que forman ventosas en sus raíces adhiriéndose al muro con facilidad. Las hiedras se recomiendan para muros orientados al norte o sur, ya que no les gusta el son.	 Imagen tomada de: Secretaría de Ambiente Bogota (2021).
Begonia	-Nombre científico: multistaminea Burt-Utley -Existen variedades como Begonia piel de sapa, begonia pichón, begonia bic rosada. -Tipo de porte: herbáceo -Origen: Introducida, bosques húmedos de Centroamérica. -Distancia entre plantas: 40 cm -Cantidad por m2: 9 plantas -Crecimiento por año: 60 cm. -Clima: Cálido y templado.	Este tipo de planta se recomienda para sistemas de fachada con macetas plásticas o bolsillos flexibles, aguantan periodos cortos de sequía. La begonia resiste periodos cortos de sequía y se recomienda para fachadas que se ubiquen al norte sur, ya que no resisten la exposición directa del sol.	 Imagen tomada del Vivero La Laguna, Ocaña NTS. Por Autor.

Nombre de planta	Descripción	Recomendación	Visualización
Boca de pescado	-Nombre científico: Lobii Baker -También llamada pescadito, pez dorado. -Tipo de porte: herbáceo -Origen: Introducida, proveniente de Brasil. -Distancia de plantación: 40 cm -Cantidad por m2: 9 plantas -Clima: Cálido y templado.	Esta planta sirve para sistemas de fachadas verdes modular con macetas plásticas y bolsillos flexibles, requiere de poca agua. Es una planta que requiere bastante luz solar, por lo que sirve para fachadas ubicadas al Este u Oeste. Esta planta la afectan las heladas, se recomienda más para climas cálidos y requieren de poca agua.	 Imagen tomada del Vivero La Laguna, Ocaña NTS. Por Autor.
Buganvilla	-Nombre científico: Bougainvillea -Existe gran variedad de buganvilla como buganvilla brasiliensis, buttiana, entre otras. -Tipo de porte: Trepadora -Origen: Naturalizada -Distancia de plantación: 40 cm -Cantidad por m2: 9 plantas -Altura máxima: 15m -Clima: Cálido frio y templado.	Esta planta sirve para tipos de fachada verde con guayas o mallas para adherirse al muro. También puede utilizarse para el sistema perimetral. Se recomienda para fachadas ubicadas en sentido Este y Oeste, ya que es una planta que necesita de mucho sol. Se recomienda usar riego constante 2 veces por semana.	 Imagen tomada del Vivero La Laguna, Ocaña NTS. Por Autor
Calanchoe	-Nombre científico: Bryophyllum Salisb -También conocida como Calanchoe pumila y Calanchoe plateado. -Tipo de porte: herbáceo -Origen: Introducida -Distancia de plantación: 30 cm -Cantidad por m2: 10 plantas -Altura máxima: 60 cm -Clima: Cálido.	Se recomienda el uso de esta planta para sistemas de fachadas en macetas plásticas o bolsillos flexibles. Esta planta se adapta a mucho sol o sombra, por lo que sirve para fachadas ubicadas al Este, Oeste, Norte y Sur. Se recomienda su riego regularmente en épocas de verano.	 Imagen tomada de: Secretaría de Ambiente Bogota (2021).

Nombre de planta	Descripción	Recomendación	Visualización
Cinta Liriope	-Nombre científico: Chlorophytum comosum -También conocida como cinta, lazo de amor. -Tipo de porte: herbáceo -Origen: Introducida -Distancia de plantación: 20 a 25cm -Cantidad: 25 plantas por m2 y entre 60 a 80 plantas por metro lineal. -Clima: Cálido y frio.	Esta planta se recomienda para para fachadas verdes con sistemas modulares en macetas plásticas y bolsas flexibles. Requieren de Radiación solar, por lo que se recomienda para fachadas ubicadas al Este y Oeste.	 Imagen tomada del Vivero La Laguna, Ocaña NTS. Por Autor
Higuera trepadora	-Nombre científico: Ficus pumila -Tipo de porte: herbácea -Origen: Introducida -Distancia de plantación: 40 cm -Densidad de plantas por m2: 9 plantas. -Clima: Cálido.	Esta planta sirve para sistemas de fachada modular hidropónico, por macetas plásticas o bolsillos flexibles. Con respecto al riego, esta planta si requiere de riego abundante, es resistente a sequias, pero no soporta el frío. Se recomienda para fachadas con orientación al Este y Oeste.	 Imagen tomada de: Secretaría de Ambiente Bogota (2021).
Vinca	-Nombre científico: Vinca major. -También conocida como hierba doncella. -Tipo de porte: herbácea -Origen: Naturalizada -Distancia de plantación: 30 cm. -Densidad de plantación por m2: 16 plantas. -Clima: Cálido y frio.	Esta planta se recomienda para el sistema de fachada modular en maceta plástica y bolsillos flexibles. Se recomienda para fachadas con orientación al Norte y Sur. Son adaptables a climas fríos.	 Imagen tomada de: Secretaría de Ambiente Bogota (2021).

Nombre de planta	Descripción	Recomendación	Visualización
Hoja de corazón	-Nombre científico: Philodendron -También conocida como potos, potus, hiedra del diablo. -Tipo de porte: herbácea -Origen: Introducida -Distancia de plantación: 30 cm -Cantidad por m2: 9 plantas -Altura máxima: de 5 a 8 m -Clima: Cálido y templado.	Se recomienda para sistemas de fachada perimetral en balcones, dado que es una planta intensiva colgante. Requiere de poco riego, y no es muy resistente al sol, por lo que se recomienda para fachadas ubicadas en orientación Norte o Sur.	 Imagen tomada del Vivero La Laguna, Ocaña NTS. Por Autor
Lengua de suegra	-Nombre científico: Sensevieria trifasica -También conocida como espada de San Jorge, planta de la serpiente, cola de lagarto. -Tipo de porte: herbácea -Origen: Introducida -Distancia de plantación: 40 cm -Cantidad por m2: 4 plantas -Clima: Cálido, frio y templado.	Este sistema se recomienda para fachadas modulares en macetas plásticas. Es resistente a las heladas, se adapta a cualquier clima por lo que se recomienda para fachadas con orientación al Este u Oeste, así como también para Norte y Sur.	 Imagen tomada de: Secretaría de Ambiente Bogota (2021).

Nota. Elaborado por Autor, en base a la ficha técnica del catálogo de especies vegetales de la secretaria de ambiente de Bogota (2021) y a diferentes fuentes de información consultadas.

De acuerdo a la tabla 4, se pueden apreciar algunas de las especies más representativas para usar en fachadas verdes, en donde como parte de las recomendaciones se caracteriza cada tipo de planta de acuerdo a la orientación de la fachada, dado que las plantas que tienen mas resistencia a la luz solar se recomiendan para fachadas en orientación Este y Oeste, y por el contrario, las plantas que no son tan resistentes a la luz del sol, se recomiendan para orientación Norte o sur.

4.1.3 Ventajas y desventajas según el tipo de fachadas verdes

De acuerdo a las diferentes tipologías de fachadas verdes descritas y relevantes para la definición del tipo de fachada verde más conveniente para utilizar en edificaciones no mayores de 4 niveles en el municipio de Ocaña, a continuación, mediante la siguiente tabla 5, se aprecia el análisis de las ventajas y desventajas de los tipos de fachadas descritos.

Tabla 5

Análisis de ventajas y desventajas según el tipo de fachada verde

Tipo de fachada verde	Características	Ventajas	Desventajas
Fachada con red de cables	Sistema de guayas que genera poco peso al muro y se implementa solo con plantas trepadoras.	-Es un sistema económico en comparación con otros sistemas de fachadas verdes. - Requiere de poco mantenimiento. -Fácil instalación. -No requiere un sistema de riego sofisticado.	-No se recomienda su uso para fachadas cortas o con alturas menores de 3 metros. -Las guayas pueden sufrir perdida de tensión. -No se pueden utilizar diferentes variedades de plantas, solo plantas trepadoras.
Fachada modular en maceta plástica	Sistema de maceta plástica reciclada, que varía según el fabricante y tiene un peso máximo aproximado con sustrato saturado de 75kg/m2. Este sistema requiere de un sistema de riego por goteo para mejor autonomía y eficiencia.	-Funciona como un aislante térmico y acústico, también protege de agentes contaminantes como el polvo. -Como es un sistema que está formado de celdas, esto facilita la instalación y si existiera algún daño es sencillo de remplazarlas. -Los sistemas que utilizan celdas fabricadas con poliresinas, polipropileno o polietileno se pueden recuperar, reciclar y reutilizar. -El reemplazo de plantas muertas no es un problema se pueden introducir plantas ya desarrolladas.	-El peso de este sistema es superior a otros como el caso de cultivos hidropónicos, por lo que requiere de muros que soporten cargas superiores de 75kg/m2. -Estos paneles no son tan resistentes a la intemperie, esto lleva al desgaste y deterioro, lo que implica costos por mantenimiento y reemplazo de ser necesario. -Las aberturas que tienen estas macetas son pequeñas y las raíces de las plantas no pueden crecer mucho, limitando la variedad de vegetación.

Tipo de fachada verde	Características	Ventajas	Desventajas
Fachada modular de bolsillos	Sistema compuesto por módulos compuestos por bolsillos en material flexible como geotextil, fieltro, lana de coco, entre otros. Consta de una lona impermeable.	-Es asequible y se consigue en módulos de diferentes medidas. -No necesita de una mano de obra calificada para su instalación. -Reduce el Dióxido de Carbono de la atmósfera, gracias al recubrimiento Biológico.	-Con el tiempo el sistema de bolsillo se puede deteriorar. -Es susceptible a la humedad. -Requiere de un sistema de riego por goteo y de recolección de aguas.
Fachada modular de bolsillo tipo Kanguro Jumbo	Sistema de bolsillo compuesto por módulos de 1 bolsillo e instalados con chazos y tonillos.	Elimina puentes térmicos y problemas de condensaciones. Tiene una instalación simple y fácil. -No requiere de mano de obra especializada.	-Se puede deteriorar con el tiempo. -El sistema de instalación es lento. -Es un sistema muy pesado. Requiere de u sistema de riego por goteo.
Sistema de fachada modular hidropónico	Está compuesto por paneles de sustrato inerte. Conformado por módulos de 44 cm de largo, 22cm de ancho y 10 cm de espesor.	-En invierno produce un gran aislamiento térmico y en verano reduce la temperatura ambiente. -Es el sistema más ligero del mercado, siendo el peso aproximadamente de 30 kg/m². -Se pueden usar distintos tipos de plantas, por lo cual se crean diferentes diseños con las mismas. - Al ser un cerramiento protector exterior, se evita el deterioro de la fachada a causa de las radiaciones solares.	-La inversión para este sistema es bastante alta, debido a los elementos e instalación de bombas, equipos de riego, entre otros. -Requiere una instalación cuidadosa por parte de personal calificado. -Debido a que es un sistema monitorizado, requiere de mucho mantenimiento, ya que se debe controlar el Ph de las plantas.
Sistema de fachada perimetral	Este sistema de fachadas se utiliza para plantas colgantes, requiere de macetas de cualquier material y tamaño, ya que, para el uso de fachadas, las macetas deben ubicarse sobre el muro en la parte superior o en balcones.	Una de las ventajas es que no requiere de mano de obra calificada para su instalación, igualmente no requiere de ningún método invasivo sobre el muro ya que puede componerse por macetas de cualquier material dispuestas en la parte superior. También se utiliza en balcones, formando una cortina.	Una de las desventajas, es que, a la hora de aplicarlos a muros de edificaciones existentes, debe de disponerse correctamente el sitio de instalación de la maceta, ya que se genera una carga sobre el muro para el cual puede no estar diseñado. Puede ser vulnerable al viento si no se instala una malla.

Nota. Fuente: Autor.

4.1.4 Definición del sistema de fachada verde para el estudio de caso

De acuerdo al análisis de los diferentes tipos de fachada verde y a las ventajas y desventajas de los sistemas de fachada verde descritos en la tabla 5, para el estudio de caso en donde se define el sistema de fachada verde mas conveniente para las condiciones climáticas en zonas como la del municipio de Ocaña, se analizan variables como el costo, mantenimiento e instalación, definiendo para el caso de estudio el sistema de fachada modular, determinando 2 opciones viables que corresponden a:

Sistema de fachada modular en bolsillos flexibles: Este sistema es una opción viable para el caso de estudio, ya que su instalación no requiere de mano de obra calificada, y los materiales para su implementación son de fácil acceso inclusive se pueden elaborar de forma artesanal o manual, en donde se caracteriza el uso de la fibra de coco y geotextiles no tejidos. Este sistema aplica para el caso de estudio por su bajo costo, ya que todos los materiales se pueden conseguir de forma local.

Sistema de fachada modular en maceta plástica: Otra opción viable para el caso de estudio localizado en Ocaña, corresponde al uso de macetas plásticas, aunque su instalación tiene un rendimiento inferior al sistema de bolsillos flexibles el cual con la instalación de un modulo se puede ocupar hasta 1 m2 de fachada, en este caso para instalar macetas plásticas se debe hacer la instalación una a una, y por lo general el área que cubre cada maceta plástica no supera los 0,05m2. Sin embargo, para pequeñas áreas a cubrir como es el caso de estudio, es una opción viable.

4.2 Evaluación del método de fachada verde más conveniente para edificaciones de máximo 4 niveles en el municipio de Ocaña, mediante la aplicación de un caso de estudio, para obtener estándares de calidad con una certificación LEED

En el presente literal, se analizan los parámetros y criterios necesarios para la certificación LEED, considerando el caso de estudio de edificación de 4 niveles en el municipio de Ocaña, con la implementación del uso de fachada verde. En este orden de ideas, inicialmente se menciona en que consiste el sistema de certificación LEED.

El sistema de certificación LEED, (Leadership in Energy and Environmental Design) es un sistema de certificación internacional desarrollado por el U.S. Green Building Council (USGBC) que evalúa y reconoce la sostenibilidad y eficiencia ambiental de edificios y construcciones. Es uno de los programas de certificación más reconocidos en el ámbito de la construcción ecológica. El proceso de certificación LEED de un edificio nuevo se puede resumir en los siguientes pasos.

Registro: Se registra el proyecto para certificación LEED y se pagan cuotas de registro con base en la superficie de construcción del proyecto.

Plan de acción: Se define una estrategia para lograr la certificación LEED y se comunica al equipo de proyecto todos los elementos y medidas que deberán implementarse en diseño y construcción. En este punto se definirá el nivel de certificación objetivo (Certificado, Plata, Oro o Platino).

Implementación: El equipo de proyecto aplica todas las medidas en diseño y construcción para cumplir con prerrequisitos y créditos LEED.

Documentación: Se prepara un paquete documental con todas las evidencias que demuestran cumplimento con prerrequisitos y créditos LEED.

Cuotas de certificación: Se realiza un pago de cuotas de certificación con base en la superficie de construcción del proyecto. Estas cuotas pueden cubrirse desde el registro o hasta este punto.

Revisión preliminar y final: El proyecto es sujeto a un proceso de revisión por parte del Green Business Certification Institute (GBCI) para verificar que se satisfacen todos los criterios de prerrequisitos y créditos LEED. Hay 2 rondas de revisión, de esta manera el equipo de proyecto pueda atender comentarios o enviar información de soporte. De acuerdo a la clasificación por nivel de calificación para la obtención de certificación LEED, en la siguiente figura 17 se puede observar los niveles de certificación LEED.

Figura 17

Niveles de certificación LEED



Nota. Tomado de Kinenergy internacional (2023).

De acuerdo a la figura 17, independientemente del tipo de certificado al cual aplique el proyecto, existen diferentes sistemas de certificación conforme al tipo y uso de la edificación, en consecuencia, los principales sistemas de certificación LEED, corresponden a:

BD+C - Diseño y construcción de edificios: Este grupo implica la creación de nuevos edificios, incorporando prácticas sustentables desde su concepción hasta su construcción.

ID + C - Diseño y construcción de interiores: Enfocado en el interiorismo de edificios, este grupo busca integrar elementos sustentables y eficientes en el diseño interior.

BO&M - Operación y mantenimiento de edificios: Para aquellos edificios ya existentes, este grupo se centra en optimizar su eficiencia operativa y mantener estándares sostenibles a lo largo del tiempo.

ND - Desarrollos urbanos: La planificación de barrios y comunidades sostenibles es clave en esta categoría, abordando la complejidad de entornos urbanos desde una perspectiva verde.

HOMES - Diseño y construcción de viviendas: Desde viviendas unifamiliares hasta estructuras de gran altura, este grupo se ocupa de incorporar prácticas sustentables en proyectos residenciales.

Ciudades y comunidades completas: La adición más reciente, esta familia se dedica a la sostenibilidad a nivel macro, abordando el diseño y la planificación de ciudades enteras, tanto existentes como en desarrollo. (Kinenergy internacional,2023).

De acuerdo a lo anterior, tomando como referencia las diferentes guías e información de la página oficial de LEED, para versiones de certificación en cualquiera de los niveles más

actualizados LEED V4 y V4.1. En la actualidad existen 21 sistemas de certificación en donde por facilidad de información y consulta se define LEED V4, para efectos de la investigación objeto del presente estudio correspondiente al edificio de 4 niveles ubicado en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, analizando el cumplimiento de parámetros de requerimiento y control LEED V4 en su sistema: **BD+C - Diseño y construcción de edificios**

4.2.1 Criterios y parámetros necesarios para la certificación LEED

Luego de tener en cuenta los diferentes sistemas de certificación LEED, y el puntaje al cual aspirar de acuerdo al nivel de certificación, se deben cumplir con estrategias que corresponden a categorías de créditos los cuales se clasifican en prerrequisitos que corresponden a los créditos obligatorios y los créditos opcionales que son los que otorgan puntos. En la figura 18, se puede observar los créditos LEED.

Figura 18
Créditos de certificación LEED



Nota. Tomado de Kinenergy internacional (2023).

Según la figura 18, a continuación, se resume en la siguiente tabla 6, el conceto básico de los principales créditos que deben considerarse para la aplicación de los parámetros o estándares LEED.

Tabla 6

Resumen de créditos para certificación LEED

Categoría de Crédito	Resumen
Sostenibilidad del sitio (SS)	Se especifica selección del sitio, desarrollo de áreas contaminadas, gestión de aguas pluviales.
Eficiencia en el uso del agua (WE)	Uso de dispositivos de bajo flujo, sistemas de recolección de agua de lluvia, paisajismo eficiente
Energía y atmósfera (EA)	Eficiencia energética, energías renovables, monitoreo de energía, reducción de gases de efecto invernadero
Materiales y recursos (MR)	Uso de materiales reciclados, certificaciones de proveedores, reducción de residuos, productos de bajo impacto ambiental
Calidad ambiental interior (IEQ)	Calidad del aire interior, control de iluminación natural, comodidad térmica y acústica, bienestar de los ocupantes
Innovación en el diseño (ID)	Medidas innovadoras, soluciones personalizadas
Prioridades regionales (RP)	Adaptación a las condiciones locales

Nota. Obtenido de Gonzalez (2012), modificado y adaptado por autor.

De acuerdo a la tabla 6, se puede apreciar que muchos de los criterios para el cumplimiento de los estándares LEED, están enfocados al seguimiento del desarrollo sostenible tanto para la etapa de construcción, como también para la etapa de diseño, en donde inicialmente se considera que un proyecto LEED, debe tener acceso a todos los servicios a su alrededor, para disminuir el consumo en el desplazamiento para poder tener acceso a paraderos de autobuses, plazas de mercado, entre otros.

Teniendo en cuenta los créditos mencionados, el sistema de certificación LEED, establece una lista de chesk list, en el cual se verifican y se asigna puntuación a cada uno de los parámetros establecidos, y los cuales se utilizan para analizar el caso de estudio. Ver en presente documento literal 4.2.4 Analisis caso de estudio según CheckList LEED V4 BD+C.

4.2.2 Beneficios de la certificación LEED en Colombia

Con relación a los beneficios del uso de una certificación a nivel internacional como lo es el caso de la certificación LEED, se puede mencionar que gracias a esta certificación y según la **Resolución 196 de 2020,** "por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para acceder a los beneficios tributarios de descuento en el impuesto de renta, deducción de renta y exclusión del IVA para proyectos de gestión eficiente de la energía", se puede obtener o acceder a un descuento del 25% en el impuesto a la renta, igualmente se obtiene como beneficio una reducción en el costo de materiales del proyecto. Las fachadas verdes clasifican como contribución a la eficiencia energética, la cual el gobierno puede verificar mediate un sistema de certificación LEED.

Otro de los beneficios de una construcción sostenible en este caso con el uso de fachadas verdes, se puede acceder a líneas de crédito verde asociados a sistemas de certificación LEED, en donde la entidad bancaria ofrece beneficios especiales para quien solicite un crédito para obra nueva o remodelación que cuente con estándares de sostenibilidad verificables mediante una certificación, la cual en este caso se hace referencia a la certificación sostenible LEED. Otro de los beneficios que conlleva obtener una certificación LEED, es que se utiliza un estándar adoptado y utilizado en todo el mundo, lo cual da cierto grado de confianza al existir indicadores

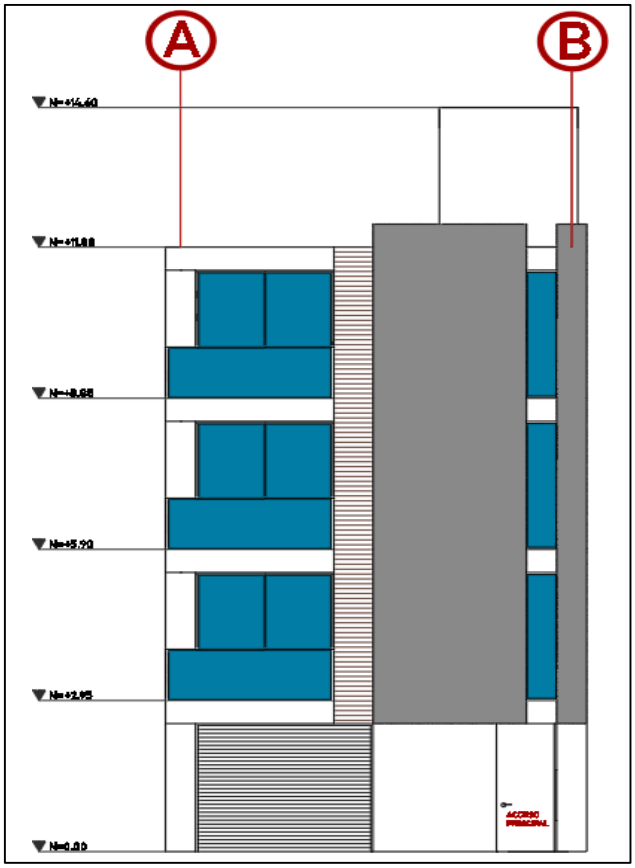
claros con alcances demostrables. Además, se obtiene mayor rentabilidad y competitividad, ya que como se mencionó anteriormente, se pueden obtener beneficios tributarios.

4.2.3 Descripción caso de estudio a implementar sistema de fachada verde

A continuación, se relaciona el caso de estudio para el cual se busca una certificación LEED básica, implementado el uso de fachada verde. En la figura 19, se pude apreciar la fachada original de la edificación de 4 niveles seleccionado como caso de estudio localizado en el Area urbana del municipio de Ocaña.

Figura 19

Fachada inicial caso de estudio Edif. Ocaña

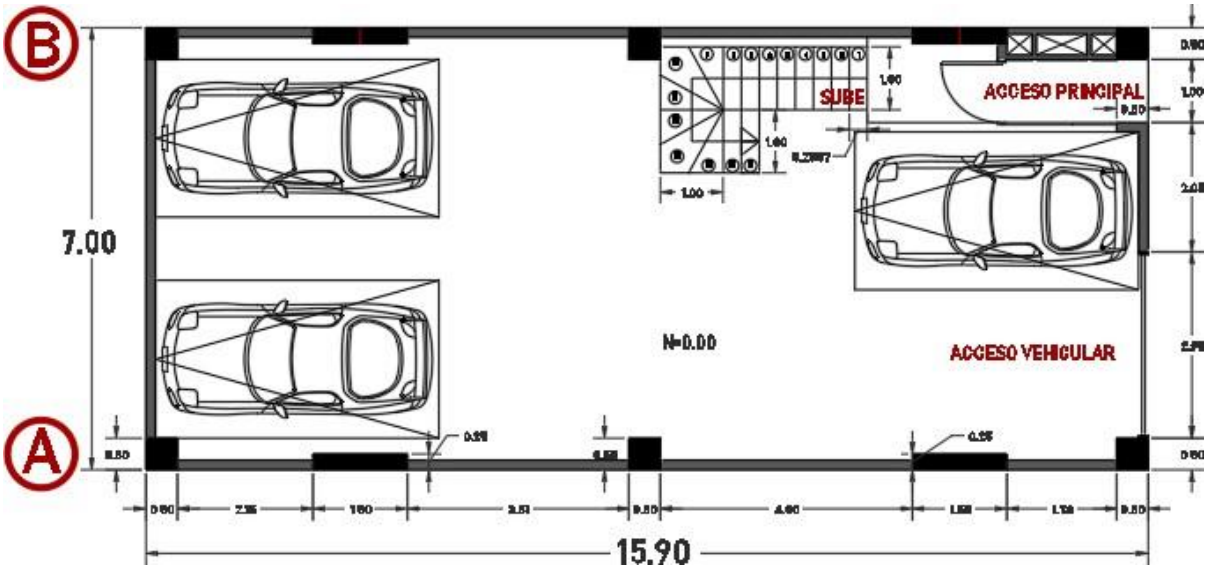


Nota. Fuente: Autor

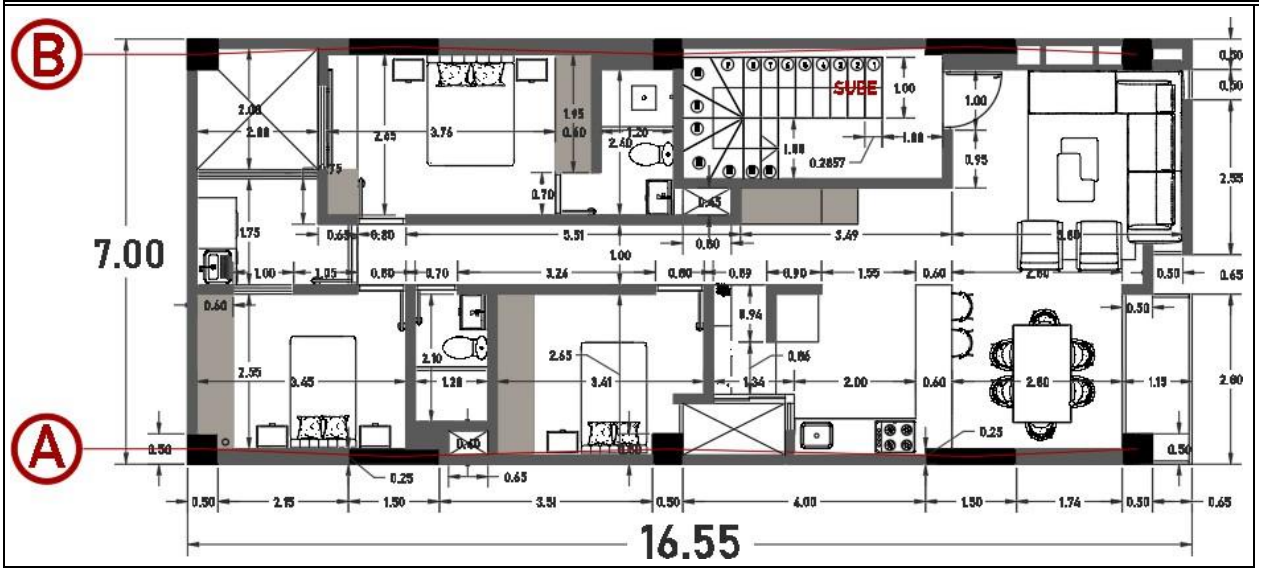
Figura 20

Planos en Planta caso de estudio Edif. Ocaña

Planta 1



Planta 2, 3 y 4



Nota. Fuente: Autor

En la siguiente figura 21, se puede apreciar el perfil longitudinal del proyecto caso de estudio.

Figura 21

Perfil longitudinal proyecto caso de estudio Edif. Ocaña

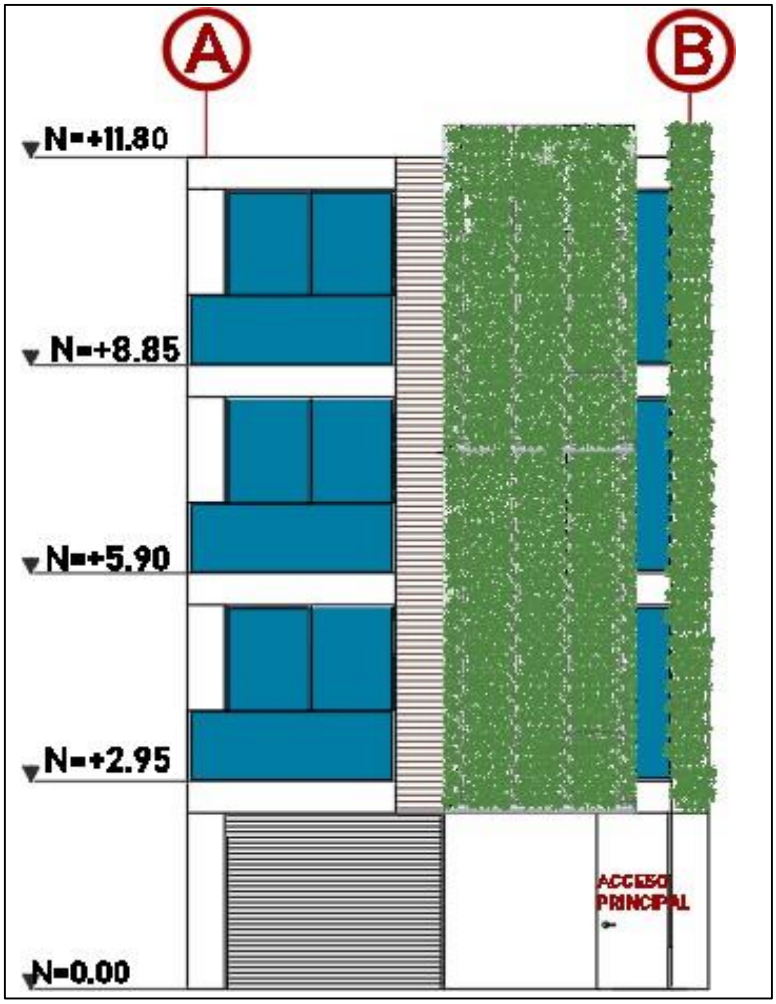


Nota. Fuente: Autor

De acuerdo a la figura 21, se puede observar el perfil longitudinal de la edificación de 4 niveles, la cual consta de 3 apartamentos, uno por cada nivel, en donde el primer nivel es el espacio designado para los parqueaderos. Con respecto a la propuesta de fachada verde, como alternativa sostenible para el caso de estudio, en la siguiente figura 22, se puede apreciar la fachada con el área cubierta con fachada verde, en donde se tiene un área de fachada a cubrir con sistema de fachada modular en bolsillos flexibles. En la figura 23, se observa el render de la fachada verde.

Figura 22

Propuesta de fachada verde caso de estudio Edif. Ocaña



Nota. Fuente: Autor.

De acuerdo a la figura 22, el área en el cual se instala la fachada verde cuenta con dimensiones de 2,55 m de ancho y 9,75 m de alto para un total de = 24.9 m2. Según el sistema de fachada verde modular en bolsillos flexibles, se define como la opción más viable para el caso de estudio dado que la fachada comienza a una altura de 2,95 m por encima del nivel del suelo y es uno de los sistemas más prácticos que no requiere de mano de obra calificada y tiene buen rendimiento de mano de obra en cuanto a m2 instalado por modulo de bolsillo flexible, en

comparación con otros métodos de fachada como es el caso del sistema modular en macetas plásticas, el cual a pesar de que es un sistema viable para el caso de estudio, su rendimiento de obra es bajo. En la figura 23, se puede observar el render de la fachada verde caso de estudio.

Figura 23

Render fachada verde proyecto caso de estudio



Nota. Autor.

Según la figura 23, se puede observar el render con el sistema de fachada verde al 100%, cubriendo aproximadamente 50% de la fachada en total, permitiendo una agradable vista para la edificación y un desarrollo urbano más sostenible que resalta sobre lo convencional.

4.2.4 Análisis del caso de estudio según CheckList LEED V4 BD+C

Para analizar el caso de estudio mencionado en el literal anterior, se utiliza el Checklists LEED v4 for Building Design and Construction Checklist – Spanish, obtenido del Consejo de la Construcción Ecológica de Estados Unidos (U.S. Green Building Council) [USGBC] (2024).

De acuerdo a lo anterior, es importante precisar que, solo se presenta un análisis parcial sobre la evaluación de los diferentes criterios de cumplimiento para la certificación LEED, dado que, para que la evaluación tenga validez en cuanto al cumplimiento de los parámetros del CheckList, este debe ser realizado por un evaluador acreditado LEED, igualmente también se debe pagar el precio determinado por LEED, con el cual se inicia el proceso de certificación legal.

Con relación al caso de estudio, el proyecto consiste en un edificio residencial de 4 niveles ubicado en Ocaña, Norte de Santander. Tiene una estructura de concreto reforzado, conformada por pórticos resistentes a momentos, con muros en mampostería confinada, y una fachada verde de 24,9 m² que cubre más del 50% de la fachada del edificio. El edificio cuenta con acceso a transporte público dentro del perímetro exigido por LEED, pero no tiene estacionamiento para bicicletas. El consumo energético estimado es de 130 kWh/mes, con una reducción del 30% gracias al uso de fachada verde. Actualmente, el proyecto se encuentra en etapa de estudios y diseños, por lo que algunos datos han sido asumidos y justificados para cumplir con los requisitos de certificación LEED. A continuación, se relacionan cada uno de los créditos LEED, en base a las categorías del CheckList, necesarios para la certificación:

4.2.4.1 Transporte y ubicación. En la tabla 7, se puede observar el formato original del CheckList con los requerimientos por categoría diligenciado para el caso de estudio, el cual aporta en total 16 puntos que se suman al final de todos los créditos, en donde obteniendo más de 40 puntos como mínimo, se obtiene una certificación LEED básica. En la tabla 7, se aprecia que, las casillas en verde corresponden a la opción de si cumple, las de color rosado significa que no cumple y las de color amarillo las que no se requieren. En este caso lo que importa es dar cumplimiento a las opciones en las que si se cumpla para poder lograr el puntaje mínimo necesario de certificación.

Tabla 7

CheckList Transporte y Ubicación

6	**1**	**9**	**Ubicación y Transporte**		**16**
			Crédito	Ubicación para el Desarrollo de Barrios LEED	16
	1		Crédito	Protección de Tierras Susceptibles	1
		2	Crédito	Sitio de Alta Prioridad	2
3		1	Crédito	Densidad de los Alrededores y Diversidad de Usos	5
3		1	Crédito	Acceso a Transporte de Calidad	5
		1	Crédito	Instalaciones para Bicicletas	1
		1	Crédito	Huella Reducida de Estacionamiento	1
		1	Crédito	Vehículos Eficientes	1

Nota. Tomado de USGBC (2024) diligenciado por Autor.

De acuerdo a la tabla 7, se puede apreciar en la parte superior de la tabla, la suma de todos los puntajes asignados a cada uno de los créditos correspondientes en cuanto a cumple o no cumple, los cuales en total suman 16 créditos. Con respecto al diligenciamiento de esta categoría, se considera que las líneas de transporte público disponibles cumplen parcialmente los requisitos de frecuencia y cercanía. No hay estacionamiento para bicicletas ni infraestructura para vehículos eléctricos, por lo cual esos créditos no cumplen.

4.2.4.2 Sitios Sustentables. Ver tabla 8.

Tabla 8

CheckList Sitios sustentables

6	**3**	**1**	**Sitios Sustentables**		**10**
Sí			Prerrequisito	Prevención de la Contaminación en la Construcción	Obligatorio
1			Crédito	Evaluación del Sitio	1
2			Crédito	Desarrollo del Sitio - Protección o Restauración del Hábitat	2
		1	Crédito	Espacios Abiertos	1
	3		Crédito	Manejo de Aguas Pluviales	3
2			Crédito	Reducción del Efecto Isla de Calor	2
1			Crédito	Reducción de la Contaminación Lumínica	1

Nota. Tomado de USGBC (2024), diligenciado por Autor.

De acuerdo a la tabla 8, el crédito de **Prevención de la Contaminación en la Construcción**, corresponde a un prerrequisito que es de carácter obligatorio y de seguimiento para la certificación, en la etapa de construcción de las obras en donde se asume que el proyecto implementará medidas como barreras de sedimentos y drenaje adecuado.

Con respecto al crédito **Evaluación del sitio,** corresponde a la valoración de las condiciones del sitio donde se sitúa el proyecto, en donde se evalúan las opciones sostenibles que pueden ser aplicables al proyecto. En este caso se asume el cumplimiento de este crédito ya que corresponde a la documentación de información topográfica, climatológica, vegetación, suelos, uso humano, efectos en la salud humana.

Con respecto al crédito **Desarrollo del Sitio - Protección o Restauración del Hábitat,** hace referencia a las áreas naturales existentes y a restaurar las áreas dañadas, por lo que se

asume el cumplimiento d este crédito, ya que, con el uso de la fachada verde, se mínima el impacto ambiental al Habitat que se pueda generar.

Con respecto al crédito de **Espacios abiertos,** el cual corresponde a disponer de un espacio abierto al exterior mayor o igual al 30% del área total del sitio del proyecto, este crédito no se cumple, dado que el área es totalmente construida y no van a existir jardines o vegetación con el 25% del área total del sitio.

Con respecto al crédito de **Manejo de Aguas Pluviales,** no aplica para el proyecto, ya que en el sitio de obra no hay ningún manejo de aguas superficiales.

Con respecto al crédito de **Reducción del Efecto Isla de Calor,** si cumple ya que con el uso de fachada verde se reduce el efecto de isla calor.

Con respecto al crédito de **Reducción de la Contaminación Lumínica,** se asume su cumplimiento, ya que el propósito es incrementar el acceso al cielo nocturno, mejorar la visibilidad en horas nocturnas y reducir las consecuencias del desarrollo para la vida salvaje y las personas.

4.2.4.3 Uso eficiente del agua. Esta categoría corresponde a las diferentes medidas de ahorro en el consumo de agua, en donde se asume el cumplimiento de algunos créditos, dado que el proyecto se encuentra en etapa de diseño. Ver tabla 9.

Tabla 9

CheckList Uso Eficiente del Agua

3	2	6	Uso Eficiente del Agua		11
Sí			Prerrequisito	Reducción del Consumo de Agua en el Exterior	Obligatorio
Sí			Prerrequisito	Reducción del Consumo de Agua en el Interior	Obligatorio
Sí			Prerrequisito	Medición del Consumo de Agua por Edificio	Obligatorio
		2	Crédito	Reducción del Consumo de Agua en el Exterior	2
2		4	Crédito	Reducción del Consumo de Agua en el Interior	6
	2		Crédito	Consumo de Agua de la Torre de Enfriamiento	2
1			Crédito	Medición del Consumo de Agua	1

Nota. Tomado de USGBC (2024), diligenciado por Autor.

De acuerdo a la tabla 9, para reducir el consumo de agua, durante la construcción y operación de la edificación, consta de usar instrumentos tecnológicos ahorradores de agua, como duchas y grifos ahorradores. Con relación a la reducción del consumo de agua en el exterior el uso de fachada verde limita o impide el cumplimiento de este crédito.

4.2.4.4 Energía y atmosfera. En esta categoría, se relacionan los créditos que hacen referencia al ahorro en el consumo de energía eléctrica. Ver tabla 10.

Tabla 10

CheckList Energía y Atmosfera

15	0	18	Energía y Atmósfera		33
Sí			Prerrequisito	Comisiona miento y Verificación Básicos	Obligatorio
Sí			Prerrequisito	Desempeño Energético Mínimo	Obligatorio
Sí			Prerrequisito	Medición del Consumo de Energía por Edificio	Obligatorio
Sí			Prerrequisito	Gestión Básica de Refrigerantes	Obligatorio
2		4	Crédito	Comisionamiento Avanzado	6
8		10	Crédito	Optimización del Desempeño Energético	18
1			Crédito	Medición de Energía Avanzada	1
		2	Crédito	Respuesta a la Demanda	2
		3	Crédito	Producción de la Energía Renovable	3
		1	Crédito	Gestión Avanzada de Refrigerantes	1
2			Crédito	Energía Verde y Compensaciones de Carbono	2

Nota. Tomado de USGBC (2024), diligenciado por Autor.

De acuerdo a la tabla 10, con relación al prerrequisito de desempeño energético mínimo, La fachada verde reduce el consumo de energía en un 30%, superando los requisitos mínimos. El aislamiento térmico proporcionado por la fachada verde contribuye a la eficiencia energética.

4.2.4.5 Materiales y recursos. Ver figura 11.

Tabla 11

CheckList Materiales y Recursos

5	2	6	**Materiales y Recursos**		13
Sí			Prerrequisito	Almacenamiento y Recolección de Productos Reciclables	Obligatorio
Sí			Prerrequisito	Planificación de la Gestión de los Desechos de Construcción y Demolición	Obligatorio
3	2		Crédito	Reducción del Impacto del Ciclo de Vida del Edificio	5
		2	Crédito	Transparencia y Optimización de los Productos de Construcción - Declaración Ambiental de Productos	2
		2	Crédito	Transparencia y Optimización de los Productos de Construcción - Fuentes de Materias Primas	2
		2	Crédito	Transparencia y Optimización de los Productos de Construcción - Ingredientes de los Materiales	2
2			Crédito	Gestión de los Desechos de Construcción y Demolición	2

Nota. Tomado de USGBC (2024), diligenciado por Autor.

De acuerdo a la tabla 11, con respecto al crédito de **Reducción del Impacto del Ciclo de Vida del Edificio,** se asume que en el proyecto se reutilizaran materiales de construcción que estén dentro o fuera del proyecto, por lo cual se otorga la calificación de 3 puntos.

Con relación a los créditos de **Transparencia y Optimización de los Productos de Construcción - Declaración Ambiental de Productos, fuentes de materias primas, ingredientes de materiales,** no se cumple porque a nivel local en el municipio de Ocaña, no se consiguen materiales de construcción que ofrezcan información sobre el ciclo de vida del

producto ofertado, o que cuenten con certificación de reducción de procesos o de sostenibilidad en la fabricación de productos de construcción.

Con relación al crédito de **Gestión de los Desechos de Construcción y Demolición,** se asume que el proyecto reutilizara en mayor medida todos los residuos de construcción de manera eficiente.

4.2.4.6 Calidad Ambiental interior. Ver tabla 12

Tabla 12

CheckList Calidad Ambiental Interior

10	2	4	Calidad Ambiental Interior		16
Sí			Prerrequisito	Desempeño Mínimo de la Calidad del Aire Interior	Obligatorio
Sí			Prerrequisito	Control del Humo Ambiental del Tabaco	Obligatorio
1		1	Crédito	Estrategias Avanzadas de Calidad del Aire Interior	2
1		2	Crédito	Materiales de Baja Emisión	3
		1	Crédito	Plan de Gestión de la Calidad del Aire Interior en la Construcción	1
1	1		Crédito	Evaluación de la Calidad del Aire Interior	2
1			Crédito	Confort Térmico	1
2			Crédito	Iluminación Interior	2
3			Crédito	Iluminación Natural	3
1			Crédito	Vistas de Calidad	1
	1		Crédito	Desempeño Acústico	1

Nota. Tomado de USGBC (2024), diligenciado por Autor.

De acuerdo a la tabla 12, la fachada verde mejora la calidad del aire interior mediante el filtrado de partículas y producción de oxígeno. El aislamiento proporcionado por la fachada verde mejora el confort de los ocupantes. Con relación desempeño acústico, el diseño del edificio caso de estudio no contempla el estudio y la definición de espacios de trabajo que fomenten el bienestar. Los demás criterios, se asumen su cumplimiento.

4.2.4.7 Innovación. Ver tabla 13.

Tabla 13

CheckList Innovación

1	0	5	**Innovación**		6
1		4	Crédito	Innovación	5
		1	Crédito	LEED Accredited Professional	1

Nota. Tomado de USGBC (2024), diligenciado por Autor.

De acuerdo a la tabla 7, se asume una puntuación de 2 créditos para **Innovación,** que corresponde a alcanzar una eficiencia ambiental significativa, ya que el uso de una fachada verde en Ocaña, representa una estrategia innovadora en el contexto local. Con respecto al profesional acreditado LEED, es un parámetro que no se cumple en el desarrollo de la presente investigación.

4.2.4.8 Prioridad Regional. Ver figura 14.

Tabla 14

CheckList Prioridad Regional

1	0	3	**Prioridad Regional**		4
1			Crédito	Prioridad Regional: Crédito Específico	1
		1	Crédito	Prioridad Regional: Crédito Específico	1
		1	Crédito	Prioridad Regional: Crédito Específico	1
		1	Crédito	Prioridad Regional: Crédito Específico	1

Nota. Tomado de USGBC (2024), diligenciado por Autor.

Según la tabla 14, la fachada verde aborda problemas críticos de la región, como la reducción de islas de calor y el ahorro energético.

De acuerdo al diligenciamiento y evaluación de créditos, el proyecto tiene un alto potencial de certificación LEED gracias a la incorporación de estrategias sostenibles como la fachada verde, el acceso a transporte público y la reducción del consumo de energía. Algunos puntos pueden fortalecerse al incluir más detalles en los diseños y documentación futura.

Con respecto total de puntos que se pueden obtener en la certificación en su nivel más alto 110 puntos, para el caso de estudio, asumiendo criterios y datos relacionados al seguimiento y control del proceso constructivo, mantenimiento y operación del edificio, de acuerdo al diligenciamiento del CheckList se obtiene una puntuación de 46 puntos lo que corresponde a una certificación LEED básica que oscila entre 40 a 49 puntos.

Por lo anterior, con relación al análisis del uso de fachadas verdes en edificaciones de 4 niveles en el municipio de Ocaña, después de aplicar el CheckList de LEED V4, si se evidencia que si se logra obtener puntuación por el uso de fachada verde, ya que este tipo de fachada, interviene en todos las categorías del programa de certificación LEED, puesto que una fachada verde tiene influencia en un sitio sostenible, reduce la isla de calor, es una práctica sostenible, reduce el consumo de energía en un promedio de 30% al no tener que usar aparatos eléctricos para climatizar un lugar, promueve el uso de materiales y técnicas sostenibles, contribuye con la calidad del aire interior, ya que ayuda mínima la polución o contaminación de polvo en el exterior, permitiendo espacios más confortables al interior de la edificación, además se considera una innovación, ya que no es una práctica que a nivel local tenga reconocimiento. La evaluación de CheckList realizada en el presente documento se considera de forma teórica, ya que para obtener una validez, debe ser revisada, cuestionada y analizada por un profesional con acreditación LEED.

4.3 Valoración económica de la implementación de la metodología de fachada verde más conveniente para edificaciones de máximo 4 niveles en el municipio de Ocaña, mediante un análisis de costo-beneficio, para conocer la viabilidad económica del método de fachada propuesto

El siguiente capitulo corresponde a la valoración económica para establecer el precio que conlleva implementar una fachada verde a un caso de estudio de edificaciones no mayores de 4 niveles en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, en donde para este caso, se realiza una investigación de las principales empresas encargadas de distribuir, promocionar y vender los sistemas de fachadas verdes para edificaciones en el país.

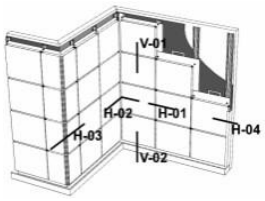
4.3.1 Analisis de precios para el uso de fachadas verdes ofertados en el mercado colombiano

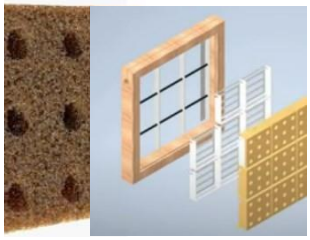
Para definir los diferentes precios de los sistemas de fachadas ofertados en el mercado colombiano, se realizó una investigación de búsqueda y consulta sobre las diferentes empresas en el país que cuentan con página web y/o ubicación digital, en donde ofertan sus productos para poder rastrearlos hasta su ubicación o punto de distribución.

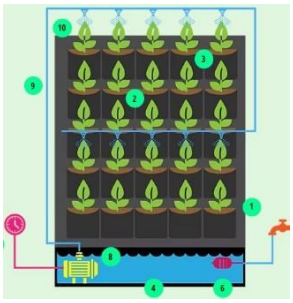
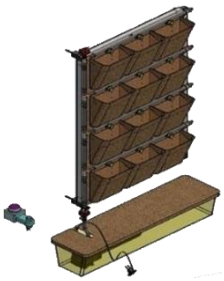
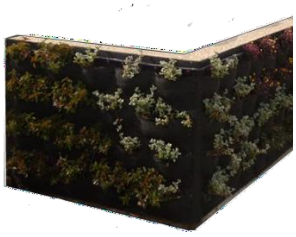
De acuerdo a información asequible por medios digitales, y en consultas externas realizadas directamente a proveedores, en la siguiente tabla 15, se pueden apreciar la caracterización y el costo por m2 de los diferentes sistemas de fachada verde según las empresas consultadas.

Tabla 15

Resumen de empresas relevantes que ofertan sistema de fachada verde en Colombia

N°	Nombre de Empresa	Ubicación	Descripción del sistema de fachada ofrecido	Precio por m2	Esquema grafico
1	Sempergreen Colombia SAS	Tocancipá, Cundinamarca	Es un sistema modular de paneles flexibles hidropónicos, sujetos con marco metálico y con sistema de riego por goteo y recolección de agua sobrante mediante canaleta que por medio de un sistema de bomba automatizada recircula el agua nuevamente hacia la fachada. Esta empresa ofrece el servicio de mantenimiento periódico.	$1.338.780	 Obtenido de: https://www.sempergreen.com/co/soluciones/fachadas
2	Vertín SAS	Bogotá	Sistema de fachada verde modular tipo bolsillo flexible, que se ancla con chazos y tornillos al muro y se coloca un plástico o poliéster de impermeabilizante, esta empresa vende totalmente el sistema completo incluido su sistema de riego por bombeo automatizado y las plantas. Esta empresa tiene un cobro adicional de $150.000 por concepto de render para el diseño de la fachada y si se requieren más de una imagen el costo puede subir hasta $300.000. El precio definido por m2 no incluye instalación.	$580.758	 Obtenido de: https://www.vertinvertical.com Muros-Verdes-Bogota-Colombia.php?cont=1
3	Groncol Sas	Bogota	Es un sistema de fachada modular que consta de una estructura en varilla de acero recubierta de caucho con capacidad para soportar 4 o 5 módulos plásticos fabricados en polipropileno reciclable con aditivo anti UV y pigmento no migratorio. El volumen del sustrato por modulo es de 3,5 lt por und, y para cubrir 1m2 de fachada se requieren de 15 módulos. El peso total por m2 saturado es de 75 kg/m2. Esta empresa distribuye el sistema completo. Incluido la instalación el sustrato y las plantas.	$750.000	  Obtenido de: https://groncol.com/productos-para-proyectos-de-paisajismo/

N°	Nombre de Empresa	Ubicación	Descripción del sistema de fachada ofrecido	Precio por m2	Esquema grafico
4	Acento Suministros & Proyectos SAS	Bogota	Corresponde a un sistema de Jardín vertical Artificial que utiliza módulos de grama o vegetación sintética de 50 x 50cm, los cuales son resistentes a la radiación UV, no requieren de mantenimiento, no se decolorizan, se puede lavar con hidro lavadora, es de uso exterior, por su diseño de follaje y entramado similar a las plantas naturales contribuye al aislamiento acústico y es una barrera natural al ruido.	$171.157	 Obtenido de: https://acento.co/jardines-verticales-artificiales-modulares/
5	Inversas Infraestructura Verde SAS	Medellín	Corresponde a un sistema modular hidropónico, conformado por módulos de Espuma fenólica, además esta empresa incluye el Sistema electrónico automatizado con sensores de humedad, cuenta con estructura resistente en materiales ecológicos y es de fácil instalación o cambio de posición de un lugar a otro.	$1.350.000	 Obtenido de: https://inversas.co/jardines-verticales-medellin/
6	Ecoexteriores LTDA	Barranquilla	Esta empresa se dedica a la instalación de jardines verticales sintéticos para uso interior y exterior pero sintético o artificial. No requiere de agua, solo para mantenimiento o lavado, es impermeable, tiene protección UV, no atrae insectos no es toxico y es de fácil instalación. De acuerdo al fabricante tiene garantía de 5 años.	$160.000	 Obtenido de: https://www.ecoexteriores.com/productos/jardines-
7	Ciclo Water Colombia SAS	Bogota	Esta empresa ofrece un sistema de fachada vertical por guayas de acero inoxidable de 4mm, útil solo para plantas trepadoras. Los sistemas de guayas, tensionadores y anclajes al muro son fabricados por la empresa a nivel mundial Jakob Rope Systems, en donde la empresa Ciclo, son los vendedores oficiales del sistema de guayas para fachadas en Colombia. Este sistema requiere de poco mantenimiento. El precio estimado no incluye las plantas y el sustrato o abono.	$154.311	 Obtenido de: https://ciclowater.com/acabados-arquitectonicos-y-muros-verdes/verticales-artificiales/

N°	Nombre de Empresa	Ubicación	Descripción del sistema de fachada ofrecido	Precio por m2	Esquema grafico
8	Naturalbox SAS	Bogota Medellín	Esta empresa ofrece un sistema de fachada modular con bolsillos flexibles, impermeabilizado por la parte interior de contacto con el muro y se ancla mediante chazos y tornillos. El sistema ofrecido por Naturalbox cuenta con un sistema de recirculación de agua mediante bombeo.	$685.000	 Obtenido de: https://www.naturalbox.co/jardinesnaturales
9	Pisos JM Alternativas y Soluciones SAS	Bogota	Ofrece un sistema de fachada modular sintético conocido como follaje artificial el cual se ancla al muro con chazos y tornillos. Según esta empresa los follajes imitan la apariencia de las plantas naturales, aportando en consecuencia frescura y color a cualquier espacio. Hechos con materiales de alta calidad, resisten las condiciones climáticas y se mantienen en buen estado por mucho tiempo.	$135.000	 Obtenido de: https://www.jmpisosbogota.com.co/follajes-artificiales-jardines-verticales/
10	Gota Terra SAS	Bogota	Esta empresa ofrece un sistema modular de bolsillos flexibles, fabricados en paño geotextil marca Fibertex, este sistema cuenta con una lona o cubierta geotextil para impermeabilizar el muro, y un sistema de riego por microgoteo el cual cuenta con bomba y recirculación de agua, y puede ser automatizado con temporizadores que activan la bomba automáticamente.	$816.425	 Obtenido de: https://gotaterra.com/p/riega-muro-verde/
11	Jardineros LTDA	Bogota	Consiste en un sistema de fachada modular de bolsillos flexibles, incluye un sistema de riego por goteo, el sustrato y las plantas. No incluye un sistema de bombeo.	$438.000	 Obtenido de: https://jardineros.com.co/

N°	Nombre de Empresa	Ubicación	Descripción del sistema de fachada ofrecido	Precio por m2	Esquema grafico
12	Verde Constructivo SAS	Bogota	Es un sistema modular de bolsillo flexible anclado al muro mediante chazos y tornillos. Cuenta con su debido sistema de riego por goteo. Incluye sustrato y plantas.	$654.000	 Obtenido de: https://verdeconstructivo.com
13	Bioestructuras SAS	Medellín Bogota	Esta empresa tiene una particularidad y es que ofrece diferentes sistemas de fachadas adaptadas a la necesidad del cliente. Ofrece sistemas modulares de fachada verde en maceta, bolsillo flexible, hidropónico y sistema de fachada directo. De acuerdo a lo consultado en la empresa, solo ejecutan proyectos de fachadas verdes para mínimo 60 m2.	$815.000	 Obtenido de: https://bioestructuras.com/ muro-verde//
14	Helecho SAS	Bogota	Esta empresa ofrece un sistema de fachada modular en maceta plástica conocido como sistema Cangurü. Este sistema cuenta con un soporte galvanizado que se anclan al muro por medio de chazos y tornillos y luego se anclan cada módulo Cangurü que ayuda a impedir la humedad.	$670.000	 Obtenido de: https://helecho.co/modulo-canguru/
15	Ecoflora SAS	Bogota	Esta empresa ofrece un sistema de fachada modular de bolsa flexible con sistema de riego por goteo y con canaleta de recolección de agua sobrante. El sistema de anclaje al muro es con chazos y tornillos.	$600.000	 Obtenido de: https://www.ecoflora.com.co/jardin-jorge-bejarano-4/

Nota. Autor.

De acuerdo a la tabla 15, se pueden apreciar las empresas más relevantes que ofertan sistemas e instalación de fachadas verdes, no obstante, en la siguiente tabla 16, se puede apreciar el análisis de las deferentes tipologías de fachadas en el mercado nacional, al igual que las ciudades en donde se identifica mayor número de empresas.

Tabla 16

Analisis del sistema de fachadas en el mercado nacional

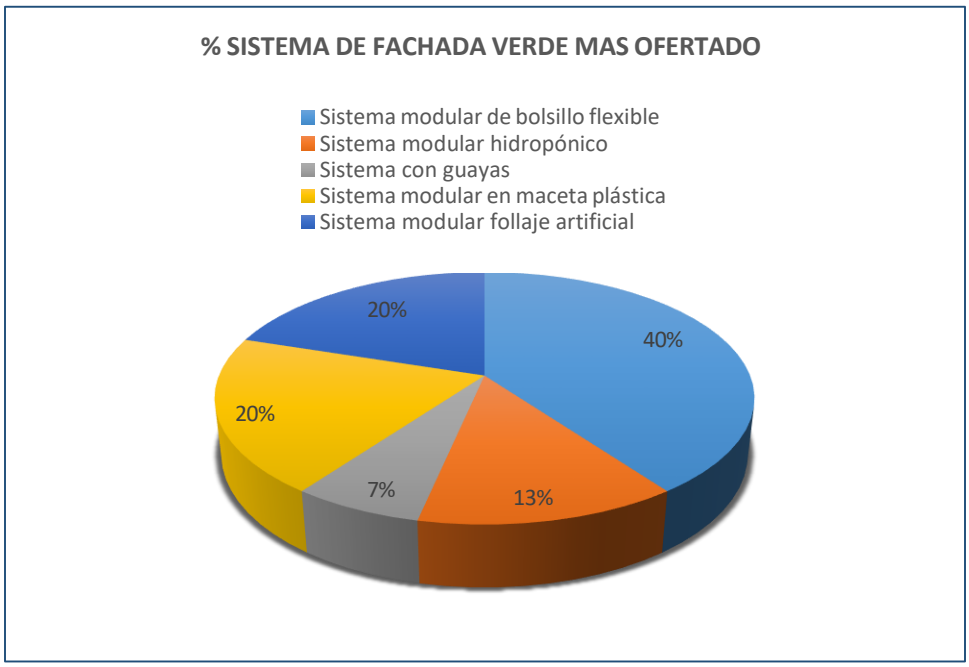
N°	Nombre de Empresa	Ubicación	Sistema de fachada	Precio estimado por m2
1	Sempergreen Colombia SAS	Tocancipá	Sistema modular hidropónico	$1.338.780
2	Vertín SAS	Bogotá	Sistema modular de bolsillo flexible	$580.758
3	Groncol Sas	Bogota	Sistema modular en maceta plástica	$750.000
4	Acento Suministros & Proyectos SAS	Bogota	Sistema modular en follaje artificial	$171.157
5	Inversas Infraestructura Verde SAS	Medellín	Sistema modular hidropónico	$1.350.000
6	Ecoexteriores LTDA	Barranquilla	Sistema modular en follaje artificial	$160.000
7	Ciclo Water Colombia SAS	Bogota	Sistema con guayas	$154.311
8	Naturalbox SAS	Bogota-Medellín	Sistema modular de bolsillo flexible	$685.000
9	Pisos JM Alternativas y Soluciones SAS	Bogota	Sistema modular en follaje artificial	$135.000
10	Gota Terra SAS	Bogota	Sistema modular de bolsillo flexible	$816.425
11	Jardineros LTDA	Bogota	Sistema modular de bolsillo flexible	$438.000
12	Verde Constructivo SAS	Bogota	Sistema modular de bolsillo flexible	$654.000
13	Bioestructuras SAS	Medellín-Bogota	Sistema modular en maceta plástica	$815.000
14	Helecho SAS	Bogota	Sistema modular en maceta plástica	$670.000
15	Ecoflora SAS	Bogota	Sistema modular de bolsillo flexible	$600.000

Nota. Autor.

De acuerdo a la tabla 16, se puede apreciar que el sistema predominante de fachada verde ofrecido por empresas colombianas es el sistema modular de bolsillo flexible. En la figura 24, se puede observar la gráfica de los sistemas de fachadas más ofertados.

Figura 24

Analisis de sistemas de fachada ofertados



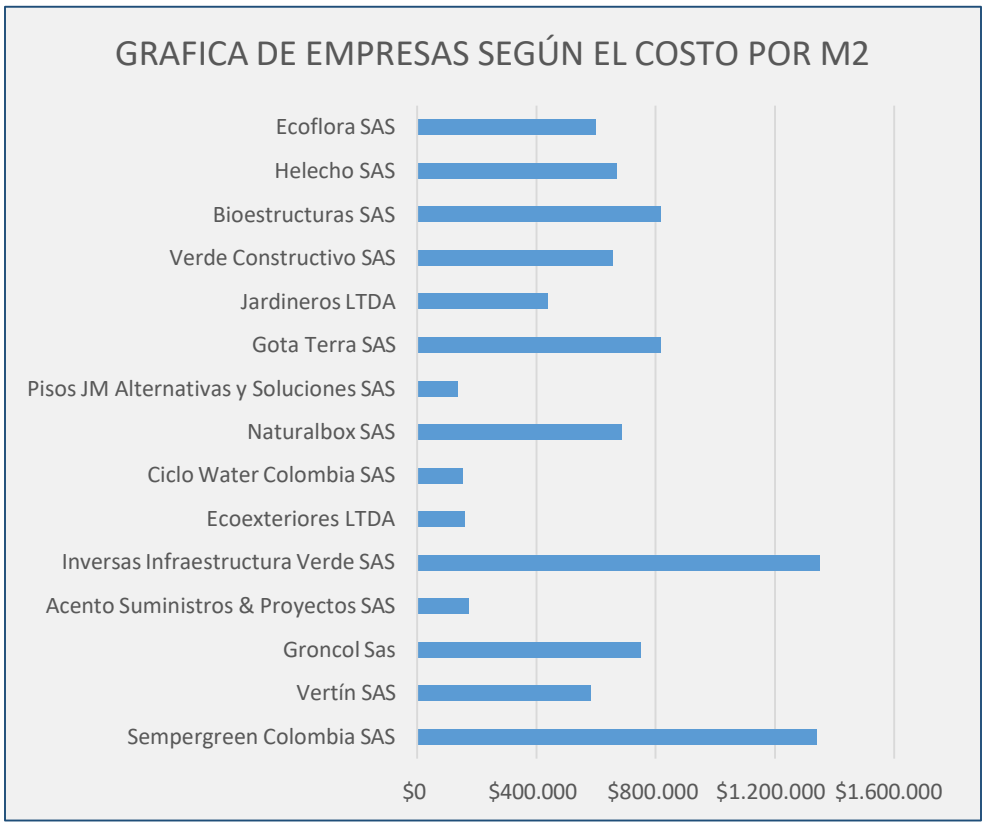
Nota. Autor.

De acuerdo a la figura 24, se puede observar que el sistema modular de bolsillo flexible representa el 40% de las empresas consultadas a nivel nacional. Y con un 20% se encuentran los sistemas de maceta plástica y follaje artificial. El sistema modular hidropónico con un 13% y el sistema con guayas 7%.

Continuando con el análisis de las empresas documentadas que ofrecen el servicio de fachada verde, en la siguiente figura 25, se observa una gráfica de histogramas de frecuencia, en función del costo por m2 del sistema de fachada ofrecido por las diferentes empresas, en donde se observa que las empresas que ofertan los sistemas de fachada hidropónicos, son las que mayor valor por m2 representan.

Figura 25

Grafica de costo por m2 de fachada verde según empresa



Nota. Autor.

Según la figura 25, se puede observar que para la mayoría de empresas que ofertan sistemas de fachada verde los costos por m2 em promedio oscila entre los $150.000 y $800.000, dependiendo de la empresa y de los artículos ofrecidos.

4.3.2 Analisis de precios por partidas para la construcción de fachadas verdes

Dado que en el literal anterior se analizan algunas empresas relevantes que ofrecen directamente el servicio de construcción de fachadas verdes, con respecto al análisis de precios por partidas, se hace referencia al costo independiente de las principales actividades que

conforman un sistema de fachada verde, en este caso con el motivo de dar a conocer los costos reales de insumos y actividades para la construcción de una fachada verde modular, aplicado al municipio de Ocaña, Norte de Santander se clasifican en 3 partidas que son: mano de obra, material contenedor y plantas (incluye sustrato).

4.3.2.1 Mano de obra. Con relación a la mano de obra necesaria para la instalación de una fachada verde en Ocaña, es importante aclarar que los métodos o sistemas de fachadas verdes asequibles en Ocaña corresponden a los sistemas modulares de maceta plástica, bolsillo flexible y sistema directo. En este orden de ideas, para la conformación de una fachada verde se requiere de personal calificado o conocedor del tema de fachada verde, no obstante, con el fin de definir un precio a nivel local para que cualquier constructor pueda elaborar una fachada verde en el municipio de Ocaña, se tiene en cuenta lo siguiente:

Dado que el uso es para fachadas en edificaciones de máximo 4 niveles, se debe contar con personal, que cuente con curso o certificado vigente de trabajo en alturas.

El personal requerido o la cuadrilla para la instalación de la fachada verde puede estar conformada como mínimo por dos operarios que pueden ser 1 oficial y 1 ayudante practico.

De acuerdo a las cotizaciones realizadas para el caso de estudio ofertados para definir los precios por m2 por empresas colombianas según la empresa Vertín SAS, la mano de obra se puede observar relacionada en la cotización recibida por parte de la empresa en la siguiente figura 26.

Figura 26

Cotización solicitada y recibida por Vertín para fachada verde en Ocaña

Noviembre 25 de 2024 - Bogotá, D.C.

Señora
Mauricio Velasquez

Propuesta económica

item	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Kanguro Jumbo	UND	136,0	$ 17.140	$ 2.331.058
2	Sustrato y Material Vegetal (Plantas)	UND	656	$ 5.673	$ 3.719.105
3	Sistema de Riego (JV)	GL	1,0	$ 1.354.480	$ 1.354.480
4	Transporte de Plantas	GL	1,0	$ 142.448	$ 142.448
5	Alquiler Andamios Tubulares	UND	30,7	$ 14.245	$ 437.775
6	Transporte de Andamios	GL	1,0	$ 71.224	$ 71.224
7	Chazos y Tornillos (JV)	UND	284,0	$ 855	$ 242.731
8	Canaletas en Galvanizado (JV)	GL	1,0	$ 399.357	$ 399.357
9	Polietileno Negro Cal. 6 (JV)	m2	31,6	$ 12.535	$ 395.994
10	Mano de Obra	GL	1,0	$ 3.758.663	$ 3.758.663

vertín

Costos Directos		$ 12.852.836
Administración	7,0%	$ 899.698
Imprevistos	6,0%	$ 771.170
Utilidad	5,0%	$ 642.642
IVA (19% sobre Utilidad)		$ 122.102
Total		$ 15.288.448
	m2	26,33
	$/m2	$ 580.758

Nota. Solicitado por Autor y recibido por correo electrónico. Los precios corresponden al caso específico (edif. Ocaña) del municipio de Ocaña.

De acuerdo a la figura 26, es importante aclarar que, durante el proceso de investigación, todas las consultas de precios para establecer el valor por costo de m2 para fachada verde, se realizaron de manera telefónica, y vía correo electrónico, no obstante, solamente se recibieron cotizaciones formales por parte de dos empresas Vertín y Ciclowater, las cuales se pueden apreciar en los apéndices del presente documento. Por consiguiente, con relación a la mano de obra ofertada por Vertín tiene un alto costo sobre valorado.

Por lo anterior para definir un precio local en el municipio de Ocaña, se caracteriza el rango salarial y el rendimiento de la mano de obra. En este caso el precio promedio mensual de la ciudad de Ocaña para un oficial corresponde a $2.000.000 con prestaciones sociales, y para un ayudante a $1.400.000 con prestaciones sociales. No obstante, con el fin de definir el precio por m2 de la mano de obra necesaria para para la construcción de una fachada modular por el método de bolsillos flexibles o macetas plásticas, está estrechamente relacionado con la duración que se gasta la cuadrilla de 1 oficial y 1 ayudante en instalar los módulos para un m2, los cuales, en este caso, el sistema más práctico de instalación corresponde al uso de chazos y tornillos.

Teniendo en cuenta que la instalación puede variar según el producto, pues para el caso de macetas plásticas el rendimiento es más lento en comparación con el sistema de bolsillos flexibles, puesto que el sistema de macetas plásticas se debe instalar una a una en donde 15 macetas aproximadamente conforman 1 m2, por el contrario, al utilizar bolsillos flexibles, estos módulos pueden venir con diferentes medidas en donde un solo modulo puede tener un área de 1m2. Por consiguiente, para definir el precio por m2 de la mano de obra para fachada verde en Ocaña, se tienen en cuenta rendimientos de obra recomendados pro Cype Ingenieros SA:

Duración mano de obra m2 sistema maceta plástica: 4 horas (1día laboral=8hr): 0,5 día

Duración mano de obra m2 sistema bolsillos flexibles: 2,5 horas (1día laboral=8hr): 0,3 día

Teniendo en cuenta la duración de la mano de obra establecida para la construcción de 1 m2 de fachada verde en el municipio de Ocaña, por los dos métodos más convencionales y asequibles, los costos para cada método corresponden a:

Mano de obra por m2 fachada verde sistema de macetas plásticas:

Oficial:

$$Vr\ Oficial\ m^2 = \frac{Vr\ mes}{30\ días} * N°días\ m^2 = \frac{\$2.000.000}{30\ días} * 0{,}5\ días$$

$$Vr\ Oficial\ m^2 = \$33.333$$

Ayudante:

$$Vr\ Ayudante\ m^2 = \frac{Vr\ mes}{30\ días} * N°días\ m^2 = \frac{\$1.400.000}{30\ días} * 0{,}5\ días$$

$$Vr\ Ayudante\ m^2 = \$23.333$$

Luego el valor total por m2 para la mano de obra en la construcción de fachada verde modular por macetas plásticas corresponde a:

$$Vr\ total\ m^2 = \$56.666 \approx \$\ 57.000$$

Mano de obra por m2 fachada verde sistema de bolsillos flexibles:

Oficial:

$$Vr\ Oficial\ m^2 = \frac{Vr\ mes}{30\ días} * N°días\ m^2 = \frac{\$2.000.000}{30\ días} * 0{,}3\ día$$

$$Vr\ Oficial\ m^2 = \$20.000$$

Ayudante:

$$Vr\ Ayudante\ m^2 = \frac{Vr\ mes}{30\ días} * N°días\ m^2 = \frac{\$1.400.000}{30\ días} * 0{,}3\ día$$

$$Vr\ Ayudante\ m^2 = \$14.000$$

Luego el valor total por m2 para la mano de obra en la construcción de fachada verde modular por sistema de bolsillos flexibles corresponde a:

$$Vr\ total\ m^2 = \$\ 34.000$$

4.3.2.2 Material Contenedor. Dado que la fachada del caso de estudio está conformado por un área de muro de 24,9 m2 y 3 balcones, en donde el muro se encuentra separado del suelo, los sistemas de fachada que se recomiendan para el caso son de bolsillo y macetas plásticas, además que por su facilidad, estos productos si son asequibles en el mercado, aunque localmente en el municipio de Ocaña no se consiguen, si existen empresas como Home Center, entre otras que si venden todo lo necesario para la construcción de una fachada verde.

De acuerdo a lo anterior, dado que a nivel local en Ocaña no hay ninguna empresa o establecimiento comercial que distribuya macetas plásticas o bolsillos flexibles, sin embargo, existen gran variedad de empresas que ofrecen estos productos en línea y que son asequibles al alcance del territorio de Ocaña, por consiguiente, a continuación, se relacionan los precios cotizados por m2 para macetas plásticas y bolsillos flexibles.

Precios de módulos macetas plásticas:

Ecomateras plásticas: Este es un sistema de materos que se consiguen fácilmente haciendo una compra Online en la empresa de cadena Homecenter la cual ofrece el producto conocido como Ecokit Jardín Vertical y está conformado por 10 módulos plásticos de Ecomateras fabricados 50% de plástico reciclado, incluyendo los chazos y tornillo y sistema de tubería para riego por goteo (ver figura 27), este sistema Ecokit Jardín Vertical, tiene un precio de $420.900 y el módulo de10 Ecomateras conforman 1 m2 de fachada, y no se incluye el sustrato y las plantas, aunque si se recomienda que por cada ecomatera se siembren 3 plantas.

Figura 27

Ecokit Jardín Vertical



Nota. Tomado de Homecenter (2024).

Precio de módulos bolsillos flexibles:

Para el caso de módulos de bolsillo si existe una variedad más amplia en cuanto al dimensionamiento de módulos, pues en el mercado digital, se pueden conseguir fácilmente módulos de 100x100cm, 50x100cm, 80x100cm. Dependiendo del tamaño del módulo los precios pueden variar, en este caso los precios cotizados corresponden a:

Modulo 100x100cm (36 bolsillos): $161.990

Modulo 80x100cm (30 bolsillos): $158.990

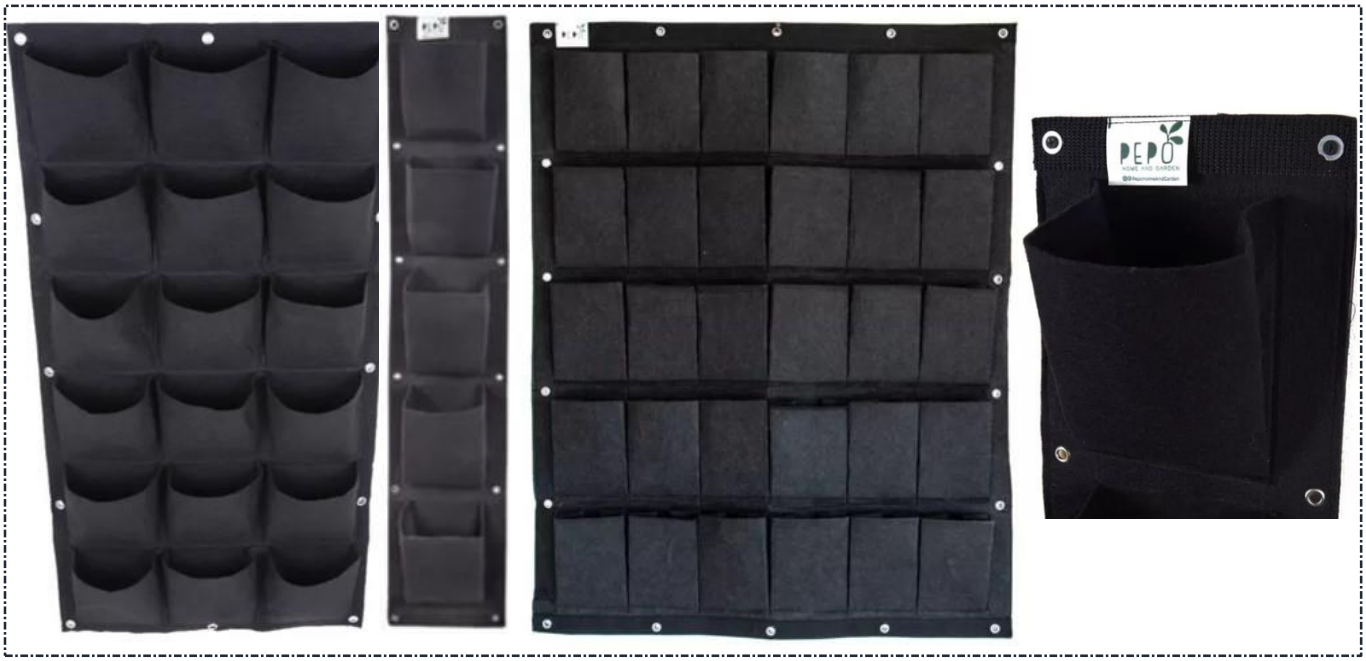
Modulo 50x100cm (18 bolsillos): $79.111

Modulo 20x100cm (5 bolsillos): $50.990

Los precios definidos para los módulos de bolsillos flexibles son los establecidos y fabricados por “PEPO HOMBE AND GARDEN”, en la figura 28 se pueden apreciar los diferentes módulos de bolsillos flexibles.

Figura 28

Módulos de bolsillos flexibles



Nota. Tomado de: Pepo Home and Garden (2024)

4.3.2.3 Sustrato y plantas. Para la instalación de una fachada verde en el municipio de Ocaña, con relación al sustrato y plantas, es importante resaltar que, en Ocaña existen diferentes viveros o establecimientos comerciales dedicados a la venta de plantas, los cuales se pueden apreciar a en la siguiente tabla 17.

En la tabla 18, se puede observar los negocios o establecimientos registrado en Ocaña, que comercializan plantas y sustrato que sirven para fachadas verdes.

Tabla 17

Empresas de Ocaña que trabajan con plantas

N°	Empresas	Productos ofertados
1	**Vivero el nuevo renacer**	**Plantas Ornamentales**
2	Casa vivero los tamayos	Plantas Suculentas
3	Vivero Plantas y algo más	Plantas ornamentales
4	**Vivero La Gloria #2**	**Plantas ornamentales**
5	Jurassic Plant Ocaña	Plantas carnívoras y suculentas
6	**Vivero la laguna**	**Plantas ornamentales**
7	Vivero sucugel	Suculentas y cactus
8	Vivero Del Oriente	Plantas carnívoras, suculentas, ornamentales y decorativas

Nota. Autor.

Con respecto al análisis de precios de las diferentes plantas utilizadas para fachada verde y que son asequibles en el municipio de Ocaña, se realizan visitas a viveros seleccionando por su capacidad de oferta 3 viveros en donde se consultan precios de diferentes plantas que pueden ser empleadas para fachadas, resumiendo la consulta de precios, tal cual se aprecia en la tabla 18.

Tabla 18

Resumen precios de plantas para fachadas verdes en Ocaña

Tipología de planta asequible	Vivero el nuevo renacer	Vivero La Gloria #2	Vivero la laguna	Promedio
Tango Naranja	$ 25.000	$ 20.000	$ 25.000	$ 23.333
Quinceañera	$ 25.000	$ 20.000	$ 25.000	$ 23.333
Helecho	$ 15.000	$ 25.000	$ 20.000	$ 20.000
Veranera (Buganvilla)	$ 20.000	$ 20.000	$ 15.000	$ 18.333
Vinca	$15.000	$ 12.000	$ 10.000	$ 12.333
Novios	$ 10.000	$ 10.000	$ 10.000	$ 10.000
Boca de pescado o pescadito	$10.000	$10.000	$ 8.000	$ 9.333
Begonia pichón bic	$10.000	$10.000	$ 10.000	$ 10.000
Cinta Liriope	$5.000	$ 7.000	$ 5.000	$ 5.667
Calanchue	-----	----	$ 10.000	$ 10.000
Hoja de corazón	-----	---	$20.000	$ 20.000
			Promedio	**$ 14.758**

Nota. Autor.

De acuerdo a la tabla 18, la tipología de plantas que se comercializa en la ciudad de Ocaña, por los principales viveros de la ciudad y que son útiles para fachadas verdes, varían su precio por unidad de planta dependiendo el tamaño o etapa de crecimiento de la misma, en este caso el precio de plantas ofertado corresponde a una etapa de crecimiento del 95%. Por lo cual, para definir el precio unitario por m2 de fachada verde en Ocaña, se asume el valor por unidad de planta en una etapa de crecimiento del 40 al 50%, como el establecido por la cotización recibida por la empresa Vertín SAS. Ver en Apéndices la cotización recibida.

Es importante aclarar que el precio definido por unidad de planta para el análisis del presente estudio, puede variar dependiendo de las preferencias del cliente, por lo que, para este caso, se supone que las plantas a instalar se encuentran en el 36,5% de su crecimiento en base al promedio de la tabla 7, obteniendo un costo por unidad de planta de $5.673,00

4.3.3 Analisis de precio unitario para fachada verde en el municipio de Ocaña

A continuación, mediante tablas, se puede observar el análisis de precio unitario por m2, para la construcción de una fachada verde en el municipio de Ocaña para edificaciones de máximo 4 niveles, en donde para el caso de estudio, dado que la fachada verde comienza de un segundo piso o nivel separado del suelo, se define el tipo de fachada verde más recomendado como sistema modular en bolsillos flexibles y se considera una segunda opción de análisis con el sistema modular de fachada verde en macetas plásticas, las cuales son las dos opciones que menores costos de construcción representan.

Con respecto al costo de mantenimiento, es importante precisar que, de acuerdo al análisis de las diferentes tipologías de fachadas el menor costo de mantenimiento corresponde al sistema de fachada modular hidropónico, sin embargo, este es uno de los sistemas de fachadas que representa un mayor costo de construcción, en comparación con otros sistemas. En este caso en la tabla 19 y tabla 20, se aprecia el análisis de precios unitarios por m2 para sistema de fachada modular por maceta plástica y bolsillo flexibles, sin incluir costos de mantenimiento.

Tabla 19

Analisis de precio unitario m2 para fachada modular en maceta plástica

	CONSTRUCCIÓN FACHADA VERDE MODULAR CON MACETAS PLÁSTICAS				**UNIDAD**	**M2**
1	**Equipos**					
Item	**Descripción**	**Cantidad**	**Tarifa/Hora**	**Rendimiento**		**Valor Unitario**
1.1	**Herramienta menor**			5% mano de obra		$ 1.474,20
1.2	**Andamios (Secciones con tablón)**	4	$350	5		$ 1.750,00
					Subtotal	$ 3.224,20
2	**Materiales**					
	Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Rend.**	**Valor Unitario**	**Valor Total**
2.1	Ecokit Jardín vertical: 10 Ecomateras/m2 (Incluye sistema de riego por goteo, chazos, tornillos)	m2	1	1	$420.900	$420.900
2.2	Sustrato y planta 3 unidades por ecomatera	und	3	10	$5.673	$170.190
2.3	Plástico impermeabilizante 4 mts de ancho.	m2	1	0,25	$10.000	$2.500,00
					Subtotal	$ 593.590
3	**Mano de obra**					
	Descripción	**Jornal**	**Prestación**	**Jornal Total**	**Rendimiento**	**Valor Total**
3.1	1 Oficial de jardinería vertical	$66.700	30%	$86.710	5	$17.342
3.2	1 Ayudante de jardinería vertical	$46.700	30%	$60.710	5	$12.142
					Subtotal	$ 29.484
					Total Costo Directo	$626.298,20

Nota. Los precios de transporte están incluidos dentro del coste de los materiales, se usa el factor prestacional para la mano de obra del 30%, vigente en Colombia.

Tabla 20

Analisis de precio unitario m2 para fachada modular en bolsillos flexibles

CONSTRUCCIÓN FACHADA VERDE MODULAR DE BOLSILLOS FLEXIBLES					UNIDAD	M2
1	**Equipos**					
Item	**Descripción**	**Cantidad**	**Tarifa/Hora**	**Rendimiento**		**Valor Unitario**
1.1	**Herramienta menor**			5% mano de obra		$ 1.474,20
1.2	**Andamios (Secciones con tablón)**	4	$350	5		$ 1.750,00
					Subtotal	$ 3.224,20
2	**Materiales**					
	Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Rend.**	**Valor Unitario**	**Valor Total**
2.1	Modulo 100x100cm (36 bolsillos):	m2	1	1	$161.990	$ 161.990
2.2	Sustrato y planta 1 unidad por bolsillo	und	36	1	$ 5.673	$ 204.228
2.3	Plástico impermeabilizante 4 mts de ancho.	m2	1	0,25	$10.000	$ 2.500,00
					Subtotal	$ 368.718
3	**Mano de obra**					
	Descripción	**Jornal**	**Prestación**	**Jornal Total**	**Rendimiento**	**Valor Total**
3.1	1 Oficial de jardinería vertical	$66.700	30%	$86.710	2,5	$ 17.342
3.2	1 Ayudante de jardinería vertical	$46.700	30%	$60.710	2,5	$ 12.142
					Subtotal	$ 29.484
					Total Costo Directo	$401.426,20

Nota. Los precios de transporte están incluidos dentro del coste de los materiales, se usa el factor prestacional para la mano de obra del 30%, vigente en Colombia.

Según la tabla 19 y tabla 20, se observa el análisis de precios unitarios para fachada verde por sistema modular de macetas plásticas y bolsillos flexibles a costo directo, despreciando el AIU (Administración, Imprevisto, Utilidad), del Analisis de precio unitario. Con respecto a los pecios definidos, según el análisis de precios para sistema de fachada verde modular con bolsillo flexibles, representa el menor costo de instalación, por lo cual se recomienda como la opción más asequible para el uso de edificaciones en el municipio de Ocaña, pero teniendo en cuenta que el precio puede variar dependiendo de la compra de las plantas y sustratos, ya que comprando semillas y germinándolas, se disminuirían los costos considerablemente.

4.3.4 Beneficios del uso de fachadas verdes

El uso de una fachada verde, conlleva a múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos. Según Seguel (2019), el uso de una fachada verde "reduce localmente la concentración de partículas en suspensión en el aire entre un 10% y un 20%, mejorando de esta manera la calidad del aire en la zona". Otro de los beneficios del uso de una fachada verde, corresponde al mejoramiento del confort térmico de la edificación y a la disminución en el consumo energético al no tener que hacer uso de aparatos eléctricos para climatizar un ambiente. A demás existen otros beneficios como el aumento en el valor de la propiedad, la promoción del desarrollo sostenible, el aumento de la biodiversidad, estética y mejor entorno.

Por lo anterior con respecto a los beneficios que conllevaría el uso de fachadas verdes para edificaciones de máximo 4 niveles en el municipio de Ocaña Norte de Santander, según la Guía de infraestructura vegetada propuesto por la secretaria de Ambiente de Bogotá (2023), se destacan 3 principales grupos de beneficios, que son: Beneficios ambientales, sociales y económicos, de los cuales se pude decir lo siguiente:

4.3.4.1 Beneficios Ambientales. Los principales beneficios ambientales, hacen referencia al confort térmico, aumento en la biodiversidad, interacción entre cobertura vegetal en espacios urbanos, mejoramiento de la calidad del aire, reducción de dióxido de carbono, producción de oxígeno, aislamiento acústico, mejoramiento paisajístico entre otros.

Aislamiento térmico. La cobertura vegetal de una fachada verde hace el efecto de una segunda piel, y dado a su composición, ayuda a impedir que la radiación solar no penetre

directamente la pare o muro exterior, lo cual ayuda a regular la temperatura al interior de la edificación generando así un confort térmico. Según Muñoz y Torres (2013), de acuerdo al caso de estudio en donde evaluaron la sensación térmica en el bloque administrativo del edificio de la Universidad Pontificia Bolivariana de la seccional Montería departamento de Córdoba, mediante simulaciones con ENVI-met V3.17 e imágenes captadas con cámara de termografía y modeladas en Irisys IR Series Imager8, se concluye que si existe una diferencia entre el muro evaluado con fachada verde y el muro expuesto exteriormente sin fachada verde, comprobando que si existe una reducción máxima de la temperatura de 4°C.

Según Perez (2024), la reducción de la temperatura por la vegetación a través de absorción, reflexión y fotosíntesis minimizan, en la escala adecuada el efecto isla de calor. Igualmente, la característica aislante de estos sistemas frente a los tradicionales (cubiertas y dobles pieles que irradian) reduce la trasmisión de calor a los edificios y con ello la reducción del consumo de energía para su climatización, puesto que dependiendo de la cantidad y del tipo de vegetación pueden reflejar y/o absorber entre el 40% y el 80% de la radiación solar recibida.

Aislamiento acústico. Considerando la fachada verde como una segunda piel que aumenta el espesor del muro o pared exterior generando así un aumento en la barrera de distorsión del sonido. Según Banoy y Osorio (2021), el uso de fachada verde sobre un muro absorbe un 41 % más de ruido que una fachada tradicional.

Según Quintero y Quintero (2019), las plantas reducen el ruido mediante la reflexión y deflexión de las ondas sonoras y la transformación de la energía sonora en energía de

movimiento y calórica, por lo que para los sistemas de fachadas verdes que mejor aíslan el ruido son las que tienen una mayor vegetación robusta.

Producción de Oxígeno y consumo dióxido de carbono. Las plantas mediante la fotosíntesis toman dióxido de carbono (uno de los gases que genera contaminación en el aire y el principal contribuyente del calentamiento global por efecto invernadero) del entorno y liberan oxígeno (Seguel, 2019). Las plantas en un jardín vertical filtran partículas del aire y convierten el CO2 en oxígeno. un metro cuadrado de fachada vegetal extrae 2,3 kg de CO2 al año del aire y produce 1,7 kg de oxígeno. (Banoy & Osorio, 2021)

Aumento de la biodiversidad. Al contar con una fachada verde, se restituye el hábitat de los microorganismos contenidos o que se alimentan de los nutrientes de los sustratos de las plantas, al igual que algunas especies de insectos y/o aves.

Disminución en la contaminación del Aire. Según la Guía de infraestructura vegetada de la Secretaria de Ambiente de Bogota (2023), el uso de una fachada verde ayuda a la disminución del material particulado suspendido en el aire producto del tráfico, la industria, incendios forestales, residuos urbanos, entre otros, dado que el material vegetal de la fachada ayuda a la deposición y eliminación de contaminantes aerotransportados y actúa como sumidero de carbono y otros contaminantes, permitiendo obtener un aire más limpio, solo con usar una fachada verde.

Según Seguel (2019), en edificios de altura considerable, la apertura de las ventanas hace que entren remolinos de polvo al interior. En un edificio cubierto por vegetación esto no ocurre,

ya que las hojas frenan y retienen las partículas de polvo en suspensión. Para el caso de Ocaña, a proponer el uso de fachadas verdes para edificaciones de máximo 4 niveles, también se pueden obtener beneficios sobre la mejora del aire.

4.3.4.2 Beneficios Sociales. Uno de los beneficios sociales más representativos, a la hora de usar una fachada verde, consiste en la mejora del entorno urbanístico que ocasiona, un grado de confort y bienestar al interactuar con los ecosistemas que genera una fachada vegetada.

Aumento de áreas verdes. De acuerdo a la Secretaria de Ambiente de Bogota (2023), según la Organización Mundial de la Salud OMS (2016), recomienda 15 m^2 de espacio verde por habitante, aunque la media internacional es de 10 m^2 por habitante, por lo cual, con los jardines verticales o fachadas verdes, se puede compensar parte de las áreas verdes perdidas en la construcción de edificaciones, mejorando los espacios que mejora la calidad de vida de los habitantes.

Aumento en el bienestar y mejor calidad de vida. Al tener una fachada verde, se obtiene una sensación de bienestar y se contribuye al mejoramiento de la calidad de vida. Según Basilio et al. (2019) el impacto social positivo que genera la construcción de una fachada verde, mejora la calidad de vida de las personas, debido a que contar con un ambiente natural en casa, ayudan a mitigar el problema del estrés y preocupaciones. Igualmente, para otros autores como Quintero y Quintero (2019), también concuerdan con que los espacios verdes tienen efectos reductores del estrés, pues según la teoría de la atención (Kaplan, 1985; 1995; Kaplan y Kaplan, 1989, citado en Forest Research, 2010a) sugiere que los ambientes naturales ofrecen oportunidades de

restauración psicológica gracias a la mezcla de factores como estar lejos de la rutina diaria y los estímulos de estética agradable promueven un cierto grado de compatibilidad entre el ambiente y sus efectos en la persona.

Mejor Interacción Social. Según Banoy y Osorio (2021) vivir o trabajar en un entorno verde genera unión entre las personas, puesto que, con el uso de una fachada verde se mejora la interacción social local porque las regiones con más zonas verdes no solo tienen una estética y un entorno mejor, sino que también presentan menos violencia y agresividad y son menos propensas a sufrir agresiones vandálicas como grafitis o arte urbano (Sempergreen, 2021).

4.3.4.3 Beneficios Económicos. Dado que el uso de una fachada verde sirve como un aislante térmico que impide que la intensidad de la radiación solar penetre al interior de la edificación y contribuye al aumento de la humedad, esto genera lugares y espacios más confortables y frescos, lo que permite obtener un ahorro económico en el consumo energético al no tener que usar aparatos electrónicos para la climatización de una edificación.

En este caso para el análisis de costo-beneficio del uso de fachadas verdes en el municipio de Ocaña, es importante precisar los beneficios económicos:

Beneficios tributarios: Existen diferentes beneficios tributarios para las personas que promueven y cumplen con los estándares mínimos necesarios para el desarrollo de la construcción sostenible, el cual se logra por medio de una certificación sostenible que puede ser certificación LEED, Edge, entre otras. Para el caso del uso de fachada verde, estos incentivos

consisten en la deducción del 10% sobre los impuestos de delineación urbana y predial, para los estratos 1 y 2; del 8% para el estrato 3; del 6% para el estrato 4; del 4% para el estrato 5 y del 2% para el estrato 6. Los incentivos se otorgarán por 10 años, según el grado de cumplimiento de las condiciones o categorías de construcción sostenible que se definen en la Matriz de Evaluación de Construcción Sostenible del Manual de Construcción Sostenible (Banoy & Osorio, 2019).

Ahorro en el consumo de energía. Las fachadas verdes presentan un efecto de sombreado y evapotranspiración que es relevante para reducir la temperatura interna transmitida por fachadas y otros elementos urbanos, lo que permite retrasar los tiempos de calor, por consiguiente, esto concatena en una disminución del consumo de energía por refrigeración al interior de la edificación hasta en un 30% según Hardy (2014), presentando así, un beneficio económico para los propietarios. (Patiño & García, 2019)

Incremento de la vida útil de la fachada. Las fachadas vegetales generan una protección en la cubierta, ya que se convierte en una segunda piel de recubrimiento para la edificación frente a los efectos climáticos, el estrés térmico y la radiación de rayos UV, lo cual incrementa su vida útil, ya que, amortigua el envejecimiento, mitigando la fatiga acelerada de los materiales, la reducción de posibles deformaciones y la aparición de grietas, ampliando la periodicidad de los mantenimientos como también incrementando el tiempo para el cambio o repotenciación de la envolvente, dando así como resultado, una disminución en los costos direccionados a los mantenimientos y/o adecuaciones en la fachada. (Nurmi, Votsis, Perrels & Lehvävirta, 2013)

Aumenta el valor de la propiedad. El aspecto natural y sostenible, combinado con una reducción en los costos de energía, se traduce en un aumento del valor de la propiedad, por sus aportes ecológicos al entorno, considerándose una valorización de la propiedad en un intervalo de 6% al 15%. (Perini & Rosasco, 2013)

Por otra parte, dejando a un lado los beneficios, aunque el uso de fachadas verdes conlleva al desarrollo sostenible y diferentes beneficios económicos, sociales y ambientales, la implementación de las infraestructuras verdes urbanas puede acarrear efectos negativos sobre una comunidad o el ambiente si no se hace un correcto manejo, mantenimiento y seguimiento. Según Quintero y Quintero (2019), algunas de estas desventajas son:

Riesgo de propagación de especies invasoras no nativas. Aunque las malas hierbas autóctonas también pueden ser un problema si no se controlan, las infraestructuras verdes urbanas también pueden ser especialmente vulnerables a la invasión de especies competitivas que reduzcan la biodiversidad florística o perjudiquen a las plantas autóctonas. No obstante, hay casos en los que la propagación de una planta no autóctona no se consideró indeseable. Por ejemplo, el arbusto de las mariposas, o Buddleia davidii, ha florecido y ahora sustenta once especies diferentes de orugas de lepidópteros que consumen sus hojas o flores (Owen y Whiteway, 1980, citado en Forest Research, 2010a).

Aumento de vida silvestre. Según Baker y Harris (2007, citado en Forest Research, 2010a), la expansión de la infraestructura verde urbana puede dar lugar a incursiones de fauna salvaje, que pueden causar problemas como la transmisión de enfermedades, daños a estructuras

urbanas, daños a cultivos alimentarios y vegetación ornamental, ataques a personas o animales domésticos, colisiones de vehículos, presencia de excrementos y vertido de basura.

4.3.5 Análisis Costo beneficio

Para el análisis costo beneficio, sobre el uso de fachadas verdes en el municipio de Ocaña Norte de Santander, es importante aclarar que la definición de los valores económicos del respectivo análisis, corresponden al proyecto caso de estudio, ya que cada proyecto en particular, tiende a variar sus precios, según el área a cubrir con fachada, según la valorización del predio, según el número de pisos, y demás características y condiciones específicas de cada proyecto.

Una vez definido el costo y los beneficios del uso de fachada verde, a continuación, se relaciona el análisis costo beneficio, teniendo en cuenta el método de flujo de caja descontado para determinar el valor presente neto VPN utilizado por Franco S. (2015), en donde se detalla lo siguiente:

Matemáticamente, el valor presente neto (Villareal, 2013) es el total de todos los flujos positivos y negativos que se traen a valor presente utilizando una tasa determinada. Esta tasa se conoce como tasa de descuento, y puede sumarse gracias a un procedimiento matemático que da a estos flujos futuros una equivalencia en el periodo presente (t=0). La siguiente fórmula matemática sirve de definición formal del VPN:

$$VPN(TD = i\%) = -X_0 + \frac{X_1}{(1+i\%)^1} + \frac{X_2}{(1+i\%)^2} + \cdots + \frac{X_n}{(1+i\%)^n}$$

$$VPN(TD = i\%) = \sum_{t=0}^{n} \frac{X_t}{(1 + i\%)^t}$$

En donde;

VPN: Valor Presente Neto

$(TD = i\%)$: Tasa de descuento

X: Flujo de efectivo neto durante un solo periodo.

n: Numero de periodos.

En términos de economía, el cálculo numérico del valor presente neto (VPN) mide el spread o diferencial del rendimiento del proyecto o inversión en relación con el coste de oportunidad (coste de capital de los recursos invertidos en el proyecto) en pesos de hoy o en pesos del año cero (Baca y Marcelino, 2016). En otros términos, el valor presente neto (VPN) es una métrica que cuantifica la totalidad de la bondad económica que un inversor asociaría a un proyecto u opción de inversión (Forero, 2021). Más concretamente, este indicador de bondad económica utiliza la siguiente regla de decisión para mostrar si se crea o se destruye valor añadido o marginal, de acuerdo a las reglas de decisión que se observan en la tabla 21.

Tabla 21

Reglas de decisión VPN

VPN	Decisión	Significado
> 0	Realización Proyecto o Inversión	Crea valor
0	Proyecto o Inversión indiferente	No hay efecto sobre el valor
< 0	Proyecto o Inversión no conveniente	Destruye Valor

Nota. Tomado de Franco S. (2015).

De acuerdo a la tabla 21, el VPN indica la creación de valor del proyecto, es decir, el valor económico agregado que se obtendría de realizar la inversión, sin embargo, este resultado numérico depende de la tasa de descuento que se use en su cálculo, tasa que representa el costo de oportunidad que el inversionista asume por disponer de capital para el proyecto.

Con relación a la tasa de descuento para el cálculo del VPN, esta representa la tasa de interés que se utiliza para descontar flujos de efectivo futuros a su valor presente, es decir refleja el costo de oportunidad del dinero (Álvarez et al., 2012). En este caso para determinar la tasa de descuento para este tipo de proyectos, se utiliza los datos definidos en la Resolución Número 1092 del 20 de abril de 2022, del Departamento Nacional de Planeación DNP. Dichos valores se pueden apreciar en la tabla 22.

Tabla 22

Tasa de descuento para Colombia según horizonte en años

Tasa de descuento (%)	Horizonte de evaluación del proyecto (años)
9,5%	0 - 5
6,4%	6 - 25
3,5%	26 – en adelante

Nota. Tomado de Resolución Número 1092 del 20 de abril de 2022.

Luego de definido el método a utilizar para evaluar financieramente el uso de fachadas verdes como un aporte positivo para las edificaciones en el municipio de Ocaña, a continuación, se resume la información financiera correspondiente a inversión inicial y costos de operación y mantenimiento para el sistema de fachada verde modular en bolsillos flexibles y como una segunda alternativa u opción el sistema de fachada modular en maceta plástica. Ver Tabla 23.

Tabla 23

Costos financieros para el uso de fachadas verdes en Ocaña según caso de estudio

Sistema de fachada verde	Área m2 proyecto	Valor m2	Valor fachada verde	Valor mantenimiento/m2 año	Valor mantenimiento año
Sistema modular con bolsillos flexibles	25	$ 401.426,20	$ 10.035.655,00	$ 28.000,00	$ 700.000,00
Sistema modular con macetas plásticas	25	$ 626.298,20	$ 15.657.455,00	$ 28.000,00	$ 700.000,00

Nota. Autor.

Según la tabla 23, es importante aclarar que el costo de mantenimiento por metro cuadrado por año se asume en base a la investigación realizada por Franco S. (2015).

Con respecto al valoración económica necesaria para la determinación de los beneficios, se asume el % de ahorro energético, en base a autores como Franco S. (2015), que dice que el ahorro energético por el uso de fachadas verdes y la climatización natural y el no uso de aparatos de refrigeración o calefacción, se estima entre un 10 y 20%. Otros autores como Banoy y Osorio (2021), dicen que este porcentaje de ahorro en el consumo de energía oscila entre los 30%. Para efectos de esta investigación y con el motivo de asignar un valor económico al beneficio del uso de fachada verde en base al ahorro en el consumo de energía, se asume un ahorro del 30%.

Para definir el consumo actual de energía eléctrica, dado que la edificación caso de estudio es una obra nueva que se encuentra en etapa de diseño y no existen datos de consumo, se asumen los valores establecidos por Centrales Eléctricas de Norte de Santander según la Resolución 355 de 2004 UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), por la cual se modifica el consumo de subsistencia del servicio de energía eléctrica de acuerdo a la altura sobre

el nivel del mar, en donde para alturas menores a 1000 m.s.n.m. el consumo óptimo estimado es de 173 kWh, y para alturas mayores a 1000 m.s.n.m. el consumo es de 130 kWh. Estos consumos son establecidos para periodos mensuales.

Con respecto al costo unitario por kilovatio-hora kWh, es importante mencionar que la empresa CENS (Centrales Eléctricas de Norte de Santander), tiene subsidios para los estratos 1, 2 y 3. Para el estrato 1, el subsidio es de 58.4757% del valor unitario de la tarifa de kWh, para el estrato 2 el subsidio es de 48.0946% y para el estrato 3 el subsidio es del 15%. Para el caso del estrato 4, no hay ninguna clase de subsidio y se cobra la tarifa completa del costo unitario del kWh, y para los estratos 5 y 6 así como para servicio comercial o industrial se cobra un 20% adicional del costo unitario del kWh. (CENS, 2024).

Por lo anterior para definir el precio unitario del kWh para el caso de estudio edificio de 4 niveles en el municipio de Ocaña, de acuerdo a la ubicación del proyecto, este corresponde a un estrato 4, por lo cual según la tarifa establecida por CENS a fecha de noviembre de 2024, el costo por unidad de consumo de energía en kWh es de $ 966,4267. Por consiguiente, para el cálculo del consumo y ahorro anual para el caso de estudio se plantea la siguiente ecuación:

Costo del consumo anual de energía caso de estudio. (Estimado):

$$\boldsymbol{Costo\ consumo\ anual\ kWh} = 130\frac{kWh}{mes} * 12meses * \$\ 966.4267$$

$$\boldsymbol{Costo\ consumo\ anual\ kWh} = \$\ 1.507.625{,}65$$

De acuerdo al cálculo anterior, considerando un ahorro estimado del 30% en el consumo de energía al usar una fachada verde que permita disminuir el uso de aparatos eléctricos como aires acondicionados y ventiladores, entre otros, el ahorro para el caso de estudio corresponde a **$452.287,69 por año.**

Luego de definido el ahorro por consumo energético, otra de las variables que representa un beneficio económico con el uso de una fachada verde, corresponde a la valorización del inmueble, ya que el valor del edificio se puede incrementar entre un 6 al 15% dependiendo de su ubicación y percepción del mercado. Es importante precisar que este aumento en la valoración de la propieda por el uso de una fachada verde, ocurre en el primer año, dado que posteriormente el aumento en el valor de la propiedad ocurre de acuerdo al Índice de Valoración Predial (IVP) establecido por regiones, en donde según el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), para el caso de la ciudad más cercana al municipio de Ocaña, en este caso para la ciudad de Cúcuta el IVP, para el año 2023 el IVP es de 6,66%.

De acuerdo a lo anterior, para el caso de estudio, asumiendo que el incremento en la valoración anual de la edificación de 4 niveles en el municipio de Ocaña es de 6,66%, se considera que para el primer año luego de construida la fachada verde, la valoración económica corresponda a 10%. Por consiguiente, con el motivo de definir el costo – beneficio de una fachada verde en edificaciones de 4 niveles en Ocaña, se define el valor del m2 construido para asignar un precio estimado del costo global de la edificación. En este caso, considerando lo dicho por Urrego (2024) y de tratarse de una obra nueva de alta valorización se estima el costo por m2 de $2.500.000, y teniendo en cuenta que la edificación caso de estudio tiene un área de 458,85

m^2, el valor total de la edificación de 4 niveles ubicada en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, tiene un costo de $ 1.147.125.000,00.

Una vez definido los costos y beneficios del uso de fachadas verdes se proceden a calcular el valor del VPN para estimar la viabilidad de usar fachada verde, en donde considerando la investigación de Banoy y Osorio (2021), se considera un horizonte de 0 a 10 años en donde se busca la rentabilidad del uso de fachadas verdes en edificaciones. Mediante la siguiente tabla 24 y tabla 25 se genera el flujo de caja descontado necesario para poder definir el valor presente neto.

Tabla 24

Flujo de caja análisis financiero fachada verde en sistema modular de bolsillos flexibles

Conceptos	**Año 0**	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Costo Inversión inicial FACHADA EN BOLSILLOS FLEXIBLES	$10.035.655,0					
Costo Mantenimiento		-$700.000	-$700.000	-$700.000	-$700.000	-$700.000
Ahorro consumo energía		$ 452.287,69	$452.287,69	$452.287,69	$452.287,69	$ 452.287,69
Valorización propiedad		$38.313.975	0	0	0	0
Flujo de caja descontado		$38.066.262,69	-$247.712,31	-$247.712,31	-$247.712,31	-$247.712,31
Tasa de descuento u oportunidad	9,5%	9,5%	9,5%	9,5%	9,5%	9,5%
Conceptos		**Año 6**	**Año 7**	**Año 8**	**Año 9**	**Año 10**
Costo Inversión inicial FACHADA EN BOLSILLOS FLEXIBLES						
Costo Mantenimiento		-$ 700.000	-$ 700.000	-$ 700.000	-$ 700.000	-$ 700.000
Ahorro consumo energía		$ 452.287,69	$ 452.287,69	$452.287,69	$452.287,69	$ 452.287,69
Valorización propiedad		0	0	0	0	0
Flujo de caja descontado		-$ 247.712,31	-$ 247.712,31	-$247.712,31	-$247.712,31	-$247.712,31
Tasa de descuento u oportunidad		6,4%	6,4%	6,4%	6,4%	6,4%

Nota. Autor.

Tabla 25

Flujo de caja análisis financiero fachada verde en sistema modular maceta plástica

Conceptos	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Costo Inversión inicial FACHADA EN MACETA PLASTICA	$15.657.455,0					
Costo Mantenimiento		-$700.000	-$700.000	-$700.000	-$700.000	-$700.000
Ahorro consumo energía		$ 452.287,69	$452.287,69	$452.287,69	$452.287,69	$ 452.287,69
Valorización propiedad		$38.313.975	0	0	0	0
Flujo de caja descontado		$38.066.262,69	-$247.712,31	-$247.712,31	-$247.712,31	-$247.712,31
Tasa de descuento u oportunidad	9,5%	9,5%	9,5%	9,5%	9,5%	9,5%
Conceptos		**Año 6**	**Año 7**	**Año 8**	**Año 9**	**Año 10**
Costo Inversión inicial FACHADA EN MACETA PLASTICA						
Costo Mantenimiento		-$ 700.000	-$ 700.000	-$ 700.000	-$ 700.000	-$ 700.000
Ahorro consumo energía		$ 452.287,69	$ 452.287,69	$452.287,69	$452.287,69	$ 452.287,69
Valorización propiedad		0	0	0	0	0
Flujo de caja descontado		-$ 247.712,31	-$ 247.712,31	-$247.712,31	-$247.712,31	-$247.712,31
Tasa de descuento u oportunidad		6,4%	6,4%	6,4%	6,4%	6,4%

Nota. Autor.

De acuerdo a la tabla 24 y tabla 25, con relación a la valorización de la propiedad, teniendo en cuenta que, con la fachada verde se puede lograr solo en el primer año una valorización del 10%, con el motivo de obtener un dato que relacione solo el aumento del valor de la propiedad por el uso de la fachada verde, se descuenta el índice de valoración predial establecido por el DANE, para el año 2023 de 6,66%, por lo que para el cálculo de la valorización de la propiedad relacionado en la tabla 12, se calcula multiplicado el valor total estimado de la edificación por el porcentaje de ganancia en la valorización predial correspondiente a (10% - 6,66%) = 3,34%. Por consiguiente, el valor de la valorización predial corresponde a: (3,34%*$ 1.147.125.000,00) = $ 38.313.975,00.

Por lo anterior, teniendo en cuenta los resultados de la tabla 24 y 25, en la tabla 26, se puede apreciar el análisis costo beneficio para el sistema de fachad verde modular en bolsillos flexibles, la cual es la opción elegida y una segunda opción viable definida como sistema modular en maceta plástica, que se calcula para 5 y 10 años respectivamente.

Tabla 26

Analisis Costo – Beneficio

SISTEMA	VPN 5 AÑOS (9,5%)	VPN 10 AÑOS (6,4%)	Beneficio anual equivalente en 5 años	Beneficio anual equivalente en 10 años	Costo-beneficio (5años)	Costo-beneficio (10 años)
Sistema Modular en bolsillo flexibles	$ 24.631.695,02	$ 23.874.767,12	$27.728.033,45	$26.489.471,90	3,45	3,38
Sistema Modular en macetas plásticas	$ 19.009.895,02	$ 18.252.967,12	$22.106.233,45	$20.867.671,90	2,21	2,17

Nota. Autor.

De acuerdo a la tabla 26, se puede observar que, tanto para el sistema de fachada en bolsillos flexibles como para el sistema de maceta plástica, se obtienen valores de costo beneficio a 5 y 10 años positivos, lo que significa que ambas metodologías son viables, ya que el análisis costo beneficio resulto mayor que 0, sin embargo, se puede apreciar que los valores de costo beneficio para el sistema de fachada en bolsillos flexibles es superior a los resultados del sistema modular en maceta plástica, lo que indica que el método elegido de bolsillos flexibles es el mas conveniente para implementar en pequeñas edificaciones en zonas con pisos térmicos templados y con características similares a la ubicación del estudio de caso establecido en el área urbana del municipio de Ocaña.

4.3.6 Analisis de beneficios sostenibles

Con relación a los beneficios sostenibles, dado al alcance de la investigación no se realizan pruebas experimentales para conocer datos de campo, además el estudio de caso, es una proyección de construcción de edificación nueva de 4 niveles de uso residencial con una fachada verde en sistema modular de bolsillos flexibles con un área de 24,9 m2. En este caso se tiene en cuenta 2 variables correspondiente al ahorro en el consumo de energía y ahorro en la producción o generación de C02 (Dióxido de carbono).

4.3.6.1 Ahorro en el consumo de energía. De acuerdo a los datos de referencia previamente establecidos para la localización del proyecto y según lo establecido en la Resolución 355 de 2004 UPME, la cual actualmente se encuentra vigente, el consumo de energía eléctrica mensual estimado para pisos térmicos templados localizados entre 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) 130 kWh. Por consiguiente, el consumo de energía anual para el estudio de caso tiene un valor teórico de 1.560 kWh.

De acuerdo a los datos de referencia de investigaciones con climas similares previamente establecidos se define el ahorro en el consumo de energía eléctrica por usar una fachada verde de forma teórica con un valor de 30%. En este caso el ahorro anual en el consumo de energía corresponde a:

$$Ahorro\ energía\ electrica = 1560\ {}^{kWh}/_{año} * 30\%$$

$$Ahorro\ energía\ electrica = 468\ kWh/año$$

4.3.6.2 Disminución generación de C02. Con relación a la disminución en la generación de dióxido de carbono por el uso de una fachada verde, existen diferentes variables de estudio que pueden arrojar resultados en la disminución de dióxido de carbono, como lo es el análisis experimental mediante instrumentos especializados para medir la absorción de C02 por las plantas. Otra metodología para medir la disminución de C02 corresponde a la eficiencia energética, ya que el uso de fachadas verdes ofrecen un aislamiento térmico que repercute en la disminución del consumo de energía en promedio no mayor del 30% del consumo de energía, lo cual de acuerdo a la generación de la electricidad que puede ser por hidroeléctricas, combustibles fósiles, solar, eólica entre otras, para el caso de Colombia, existe un factor de emisión de dióxido de carbono en función del consumo de energía.

Por lo anterior, de acuerdo a la Resolución No. 000705 de 2024 de la UPME se establece mediante el factor de emisión de gases de efecto invernadero, en este caso para proyectos que involucren eficiencia energética un valor de 0,391 Kg de CO2/kWh. Por consiguiente, teniendo en cuenta el ahorro de energía anual para el estudio de caso, la reducción en la generación de dióxido de carbono corresponde a:

$$Disminución\ Dioxido\ de\ carbono = 468\ {}^{kWh}/_{\text{año}} * 0{,}391\ {}^{kg\ de\ C02}/_{kWh}$$

$$Disminución\ Dioxido\ de\ carbono = 182{,}99\ kg\ de\ C02/\text{año}$$

Por lo anterior, para el estudio de caso, se define una disminución en la generación de dióxido de carbono de 182,99 kg de C02, por año, lo que indica que el uso de fachada verde si conlleva a la contribución en el desarrollo sostenible del lugar en donde se implemente.

Conclusiones

De acuerdo al análisis de las diferentes tipologías para la construcción de fachadas verdes en Colombia, se concluye que uno de las tipologías más comerciales y más demandadas y ofertadas en el mercado corresponde a los sistemas de fachadas modulares en macetas plásticas, bolsillos flexibles e hidropónicos, en donde el sistema de fachada más eficiente corresponde a los módulos de espuma fenólica los cuales son sistemas hidropónicos que requieren de poco uso de agua. Igualmente, la eficiencia en un sistema de fachada verde consiste en tener un riego por goteo automatizado.

Con respecto a las desventajas de que conlleva tener y conservar una fachada verde, corresponde al cuidado y mantenimiento de la misma, ya que por lo general, una vez se encuentre al 100% el crecimiento de las plantas, se debe contar con un mantenimiento periódico para conservar la apariencia estética y agradable de una fachada ver, igualmente, quedaría abierta la investigación para comprobar cuál es la durabilidad de los sistemas modulares en macetas plásticas y bolsillos flexibles, dado que no se encuentra investigación, sobre el envejecimiento de estos materiales o el tiempo en el cual se deben reemplazar.

Con respecto a la evaluación del caso de estudio para obtener una certificación LEED, el uso de una fachada verde contribuye a obtener un mejor puntaje dentro de los parámetros establecidos para algunos créditos según el tipo de certificado LEED el cual para el caso de estudio es v4 for BD+C (New Construction and Major Renovation), gracias al uso de una fachada verde se obtiene buena puntuación en créditos de reducción de isla de calor, energía verde y compensación de carbono, y confort térmico. El cumplimiento de créditos de

certificación LEED, deben ser verificados durante la ejecución de las obras por un Auditor certificado LEED y el solo uso de la fachada verde, no garantiza el cumplimiento de los demás parámetros obligatorios para la obtención de la certificación.

Con respecto a la valoración económica de las diferentes tipologías de fachadas ofrecidas en el mercado colombiano se concluye que, según las empresas en donde se consultaron precios el 40% comercializa el sistema de fachada modular de bolsillo flexible, la cual es la más solicitada por su fácil instalación y durabilidad. Los tipos de fachada modular artificial y en macetas plásticas, representan 20% cada una de acuerdo al número de empresas consultadas. Los sistemas hidropónicos representan el 13% y el sistema de fachada con guayas el 7%.

Con relación al sistema de fachada más conveniente a implementar en el municipio de Ocaña, se concluye que la mejor opción corresponde al uso de sistema modular de fachada verde en bolsillos flexibles, ya que el producto de bolsillos flexibles es de fácil acceso en almacenes de cadena como Homecenter, no es costoso, y el sustrato y las plantas se pueden conseguir de manera local en Ocaña, lo cual facilita el acceso de los materiales y el procedimiento constructivo solo requiere de un oficial y un ayudante para su elaboración.

Con relación al análisis costo-beneficio de los diferentes sistemas de fachada estudiados y opcionados para el municipio de Ocaña, se concluye que el sistema de fachada modular en bolsillo flexibles representa una rentabilidad de la inversión con un valor presente neto a 5 años de $ 24.631.695,02 y seguido el sistema de fachada modular en maceta plástica con un valor presente neto a 5 años de $ 18.381.333,37.

Con respecto a los beneficios que contribuyen a los pilares de la sostenibilidad, a pesar de que se usaron datos de referencia se obtiene que el uso de fachada verde en sistema modular de bolsillos flexibles, genera un ahorro en el consumo de energía eléctrica anual de 468 kWh, lo que repercute en una disminución de dióxido de carbono por factor de emisión de gases de efecto invernadero según las fuentes de electricidad en el territorio colombiano de 182,99 kg de C02 /anual.

Recomendaciones

Se recomienda para la instalación de fachadas en el municipio de Ocaña, cotizar y comprar los materiales por separado y pagar mano de obra local para su instalación, dado que en Ocaña no existen empresas que realicen este tipo de fachadas y cotizar con una empresa fuera de la ciudad puede incrementar los costos significativamente.

Se recomienda que para usar un sistema de fachada modular en macetas plásticas o bolsillos flexibles o hidropónico, utilizar un plástico, lona o geotextil impermeabilizante, para prevenir el riesgo de humedad que puede ocasionar el riego de la fachada verde.

Se recomienda que, a la hora de realizar la instalación de una fachada verde en el municipio de Ocaña, se verifique que el personal que realice el trabajo esté capacitado y cuenten con el certificado vigente de trabajo en alturas.

Se recomienda que, a la hora de llevar a cabo un proyecto de fachada verde en una edificación nueva o existente, se realice el debido diseño de la fachada, y se compruebe que la fachada cuente con la resistencia necesaria para soportar las cargas que generara el material vegetal (módulos, sustrato y plantas)

Referencias

Alchapar, et al. (2012). *Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana.* https://www.scielo.br/j/ac/a/s9cVCzMpfQbgRNpypckHxDP/?format=pdf&lang=es

Alchapar y Correa (2015). Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas. *Informes de la Construcción.* 67(540). https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4457

Álvarez et al. (2012). Valuación financiera de proyectos de inversión en nuevas tecnologías con opciones reales. *Revista Contaduría y administración* 57(3). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-10422012000300006&script=sci_arttext

Ambientes Sostenibles Productos & Servicios (2024). *Exterior Planta.* https://www.ambientessostenibles.com/categoria-producto/exterior-planta/page/14/

Asomunicipios (2023). *Bienvenidos a Ocaña, Generalidades.* https://asomunicipios.gov.co/municipio-ocana/

Aurora et al. (2024). Identificación de jardines verticales y diversidad de especies vegetales en espacios verdes urbanos de la ciudad de Banda Aceh, Indonesia. *Revista Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (JPSL).* 14(3). https://doi.org/10.29244/jpsl.14.3.534

Baca y Marcelino (2016). Ingeniería financiera (1ª ed.). Grupo editorial Patria, S.A. de C.V. https://es.scribd.com/document/517292468/Libro-Ingenieria-Financiera-Baca-Urbina-1

Banoy y Osorio (2021). *Análisis Costo Beneficio Ambiental de Las Fachadas Verdes Estudio de Caso: Proyecto Cubo Verde.* [Trabajo de Maestría, Universidad de Medellín]. Repositorio institucional. https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/6870/T_MA_541.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Basilio et al. (2019). *Estudio de pre-factibilidad para el establecimiento de un servicio de instalación de techos verdes y jardines verticales.* [Trabajo de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola Lima-Perú]. Repositorio Institucional. https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/31393395-f93c-49e9-a040-83b428c82172/content

Bustamante y Campusano (2014). *Efectos del uso de techos y fachadas vegetales en el comportamiento térmico de edificios.* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/130298

CENS (2024). *Tarifas de Energía Mercado Regulado: $/kWh.* https://www.cens.com.co/Portals/cens/clientes-y-usuarios/Tarifas-de-energia/T2024/tarifa_CENS_202411.pdf?

Chacón et al. (2008). Diseño y construcción de un medidor de radiación solar. *Revista Tecnura.* 12(23). pp. 13-23. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257020605003

Cruciol y Fontes (2016). Jardins verticais: modelos e técnicas. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construcao.* 7(2). pp 114 – 124. doi: http://dx.doi.org/10.20396/parc.v7i2.8646304

DANE (2024). *Índice de valoración predial (IVP), Información 2023.* https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-valoracion-predial-ivp

Departamento Nacional de Planeación (2022). Resolución 1092 del 20 de abril de 2022. Por la cual se adopta la tasa social de descuento como parámetro en la evaluación de proyectos de Inversión del Sector Publico. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Normatividad/Revista%20OAJ/Segunda%20edici%C3%B3n/Resoluci%C3%B3n%201092%20de%202022.pdf

Forero, C.E. (2021). *El valor contractual y probatorio de los modelos de flujo de caja descontado para el restablecimiento del equilibrio económico de los contratos de concesión.* [Tesis de Maestría, Universidad de los Andes, Colombia]. Repositorio Institucional. https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/cfaa5eb2-ff26-453d-8e73-037e6a92e1d0

Franco S. (2015). *Valoración financiera de fachadas verdes: muros verdes en la ciudad de Bogotá.* [Trabajo de Maestría, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional. https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/9b1e907d-c1b4-4625-93dd-99b5d10475c7/content

Gonzalez (2012). *Caso de estudio: Proceso de acreditación LEED para una edificación industrial en Bogotá.* [Trabajo de pregrado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional. https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/16d96eb2-a13c-4abc-8d3c-4d004bd66e27/content

Gota Terra SAS (2024). *Riega Muros Verdes, 2 Kits y según medida.* https://gotaterra.com/p/riega-muro-verde/

Guerrero R. (2018). *Análisis del perímetro urbano del municipio de Ocaña, Norte de Santander. A través del proceso de expansión urbana y la influencia de la vivienda residencial campestre.* [Trabajo de Maestría, Universidad Santo Tomás, Bucaramanga]. Repositorio

Institucional. https://repository.usta.edu.co/handle/11634/16128

Helecho (2015). *Jardines verticales, 'la piel' de las ciudades.* https://helecho.co/jardines-verticales-la-piel-de-las-ciudades/

Helecho SAS (s.f.). *Módulo Cangurü. Nuestro Sistema Modular de Múltiplos Usos.* https://helecho.co/modulo-canguru/

Hernández S. (2011). Aplicación de la información de la vida útil en la planeación y diseño de proyectos de edificación. *Acta Universitaria.* 21(2). pp. 37-42. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41619838005

Homecenter (2024). *Jardín Vertical Ecokit 10 Compartimientos Negro.* https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/601138/jardin-vertical-ecokit-10-compartimientos-negro/601138/

Hoyos (2014). Las emisiones de CO2 en Alemania disminuirán en 2014 a medida que se reduzca el consumo energético general. *Clean Energy Wire.* https://www.cleanenergywire.org/news/german-co2-emissions-set-fall-2014-overall-energy-use-drops?utm_source=chatgpt.com

Jakob Rope Systems (2021). *Green Solutions Technical.* https://jakob-usa.com/Downloads/Catalogs/1%20jakob-rope-systems-catalog-greensolutions-g2-technical.pdf

Kinenergy internacional (2023). *Certificación LEED: Rating System.* https://www.kin.energy/blogs/post/certificaci%C3%B3n-leed-rating-system

Lugo D. (2020). *Parámetros de construcción de vivienda sostenible en Bogotá y mitos vs realidades en proyectos sostenibles.* [Tesis de posgrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional. https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/32d3f238-9736-4898-be26-dda88bffd42f/content

Malaver y Ortiz (2018). Análisis de las edificaciones sustentables como la mejor alternativa económica, social y ambiental para la construcción en Colombia. [Tesis de posgrado, Universidad La Gran Colombia]. Repositorio Institucional.

Medina (2024). *Manual de autoconstrucción de fachadas vegetadas extensivas.* [Trabajo de Posgrado, Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito – Ecuador]. Repositorio Institucional. https://repositorio.uti.edu.ec//handle/123456789/6523

Moore et al. (2024). Reducción del consumo energético de los edificios: una exploración de los aspectos prácticos de los muros verdes. *Revista Municipal Enginner.* 177(4). Pp 180-196. https://doi.org/10.1680/jmuen.24.00015

Moya S. (2023). La fachada verde extensiva como medio de producción y recuperación de la biodiversidad en zonas urbanas de la sierra del Ecuador. *Materialstoday: PROCCEDINGS.* Vol. 85. pp 67-72. https://www-sciencedirect-com.sibdigital.ufpso.edu.co/science/article/abs/pii/S2214785323028857

Muñoz y Torres (2013). *Las fachadas verdes como herramienta pasiva de ahorro energético en el bloque administrativo de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería.* https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5211138.pdf

Muñoz et al. (2019). Comportamiento térmico de jardines verticales con tipología de fachada verde. *PARC Buscar enArquitectura y Construcción.* Vol. 10. pp. 019 -013. doi: https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652775

Observatorio Ambiental Bogotá (2023). *¿Cuántos techos verdes y jardines verticales hay en Bogotá?* https://oab.ambientebogota.gov.co/techos-verdes-y-jardines-verticales-4/

Patiño & Garcia (2019). *Metodología de construcción de cubiertas y fachadas verdes para uso de huertas urbanas en Bucaramanga.* [Trabajo de Pregrado]. Repositorio Institucional. https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/6448/digital_38749.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pineda (2018). *Fachada vegetal en edificaciones tropicales: la doble piel vegetal como filtro térmico y lumínico en edificaciones tropicales de altura.* [Trabajo de Maestría, Universidad de San Buenaventura Colombia]. Repositorio Institucional. https://bibliotecadigital.usb.edu.co/entities/publication/4685000d-05a0-4c80-8b3d-f68c5b68bba0

Pinilla Vera L. (2010). *Construcción Sostenible en Colombia.* [Tesis de Maestría, Universidad de los Andes, Bogotá]. Repositorio Uniandes. https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/11155/u402347.pdf?sequence=1

Pepo Home and Garden (2024). *Productos para tus cultivos y huertas. https://pepohomeandgarden.com/*

Perez N. (2017). *Respuesta térmica de edificaciones con envolventes vegetales: Cubiertas verdes y fachadas verdes.* [Tesis de pregrado, Universidad de Sao Paulo]. https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-08082017-165024/publico/TeseNuriaPerezGallardo.pdf

Perez (2024). La vegetación en el entorno urbano como elemento de reducción en el consumo energético de los edificios. *Repositorio de Investigación RIARTE*. http://hdl.handle.net/20.500.12251/3498

Quiroa et al. (2021). Mejoramiento térmico y capacidad de mitigación climática de la cubierta verde en vivienda en zonas áridas. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño.* 16(30). https://www.redalyc.org/journal/4779/477970592006/

Quintero y Quintero (2019). Infraestructuras verdes vivas: características tipológicas, beneficios e implementación. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo.* 12(23). DOI: https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu12-23.ivvc

Secretaria Distrital de Ambiente (2011). Resolución 6619 del 20 de diciembre de 2011. Por la cual se establecen las características y condiciones para el diseño e implementación de jardines verticales en el Distrito Capital y se toman otras determinaciones. https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=45265

Secretaría de Ambiente de Bogota (2021). *Catálogo de especies vegetales.* https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/CATALOGO+DE+ESPECIES+VEGETALES+2021.pdf/1ff84016-3884-4ab9-a9d9-879e4e7a7ce7

Secretaria Distrital de Ambiente (2023). *Guía de infraestructura vegetada.* https://www.ambientebogota.gov.co/techos-verdes-y-jardines-verticales

Seguel (2019). *Metodología de evaluación para la implementación de fachada verde doble piel en edificios.* [Trabajo de pregrado, Universidad Técnica Federico Santa Maria Valparaíso – Chile]. Repositorio Institucional. https://repositorio.usm.cl/entities/tesis/a1cd2cfc-a346-49ef-a2d5-bc900f4f80f4

Shu et al. (2024). Influencia de la orientación de la fachada, la altura del suelo, el pH del sustrato y la inoculación microbiana en el rendimiento de las plantas leñosas en fachadas vegetadas en el sur de Finlandia. *Revista Urban Forestry & Urban Greening.* Vol. 94. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128280

Singular Green (2022). *Jardines verticales naturales: La tendencia verde que transforma tus espacios.* https://www.singulargreen.com/jardines-verticales-naturales/

Suarez et al. (2020). Desempeño térmico de fachadas verdes tradicionales de orientación este en viviendas seriadas emplazadas en climas áridos. *Revista hábitat sustentable.* 10(2). http://dx.doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.06

Suárez et al. (2023). Comportamiento térmico estacional de fachadas verdes conformadas por especies trepadoras perennes en muros másicos orientados al oeste. Estudio de casos en zonas áridas. *Revista CUADERNO URBANO. Espacio, cultura, sociedad.* 35(35). pp. 83-105. https://doi.org/10.30972/crn.35356773

Terapia Urbana (2022). *Certificación LEED para Jardines Verticales. https://www.terapiaurbana.com/certificacion-leed-para-jardines-verticales-2/*

Unidad de Planeación Minero Energética (2004). Resolución 355 del 08 de julio de 2004. Por la cual se modifica el consumo de subsistencia del servicio de energía eléctrica. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_upme_0355_2004.htm

Unidad de Planeación Minero Energética (2024). Resolución 000705 del 30 de agosto de 2024. Por la cual se modifica la Resolución 000762 de 2023, mediante la cual se actualizó el factor de emisión del Sistema Interconectado Nacional del 2022 para inventarios de

emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y proyectos de mitigación de GEI. https://www1.upme.gov.co/Normatividad/705_2024.pdf

Urrego (2024). *Estos son los valores de la vivienda para 2024 en Colombia.* Metro cuadrado.com. https://www.metrocuadrado.com/noticias/actualidad/estos-son-los-valores-de-la-vivienda-para-2024-en-colombia-4732/

U.S. Green Building Council, [USGBC] (2024). *LEED v4 for Building Design and Construction Checklist – Spanish.* https://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-checklist-spanish

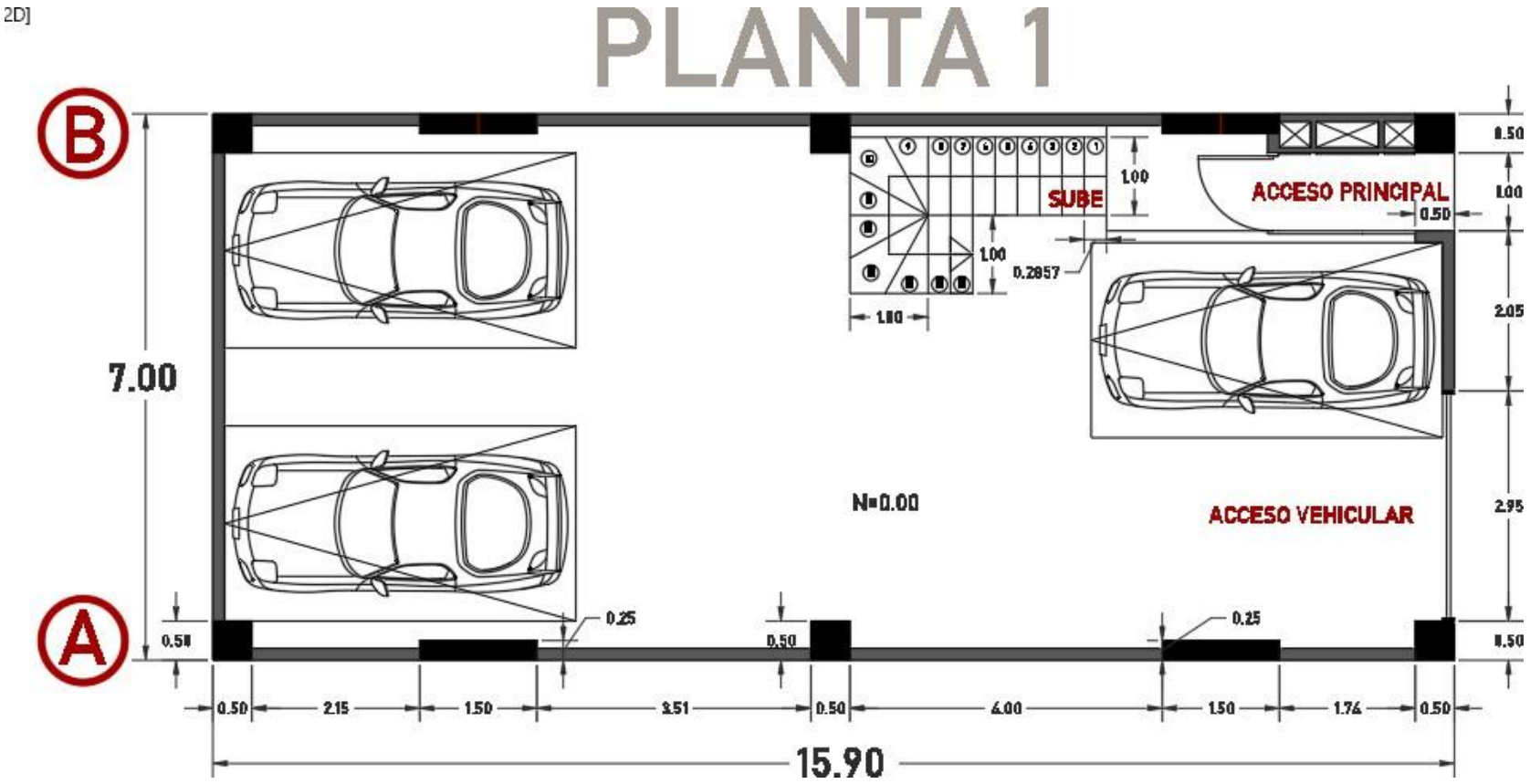
Vertín (2023). *Muros Verdes.* https://www.vertinvertical.com/Muros-Verdes-Bogota-Colombia.php

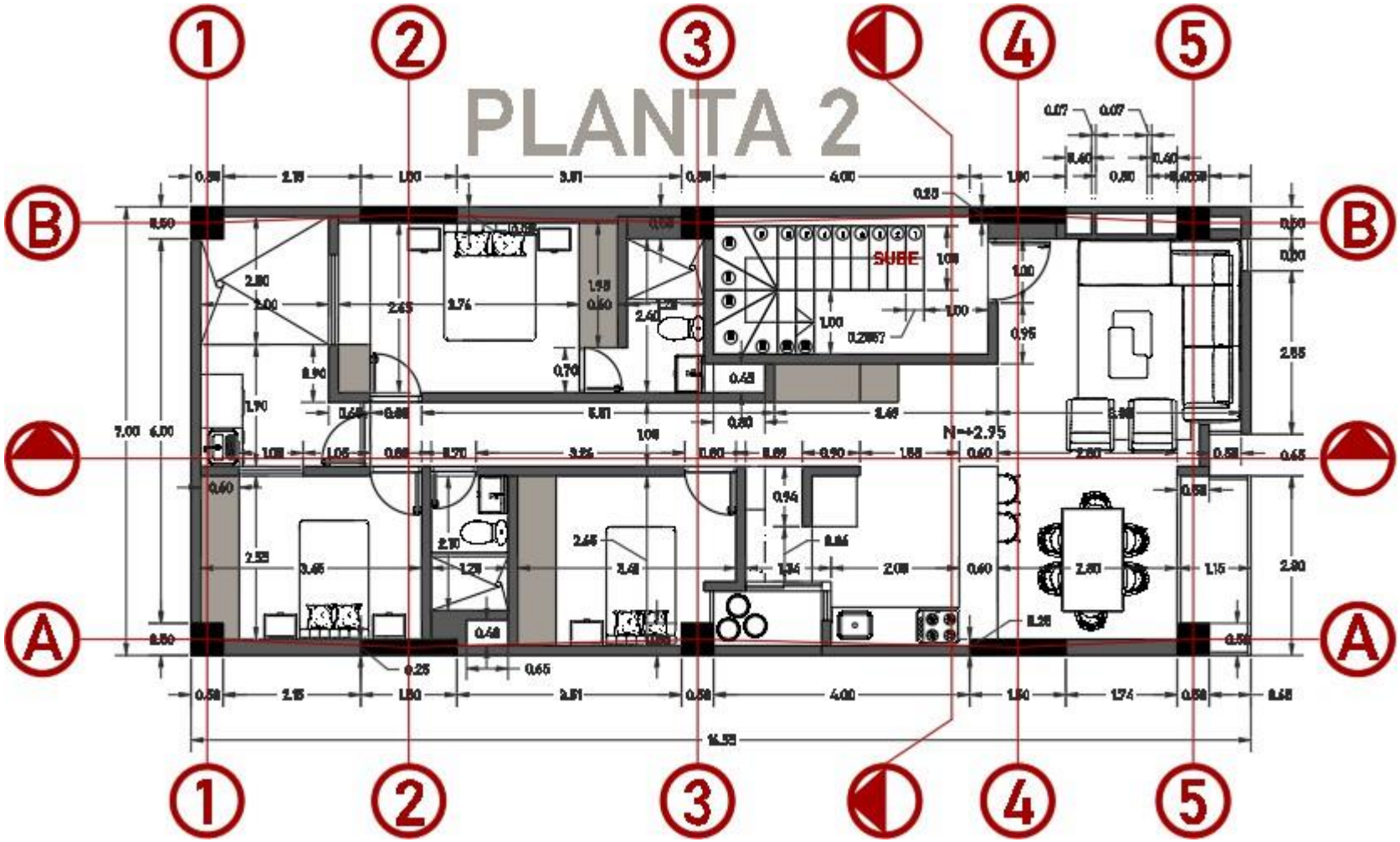
Weather Spark (2024). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Ocaña Colombia.* https://es.weatherspark.com/y/24406/Clima-promedio-en-Oca%C3%B1a-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o

Yang, Yu, & Gong (2008) Yan, J., Yu, Q. and Gong, P. (2008) Quantifying Air Pollution Removal by Green Roofs in Chicago. Atmospheric Environment, 42, 7266-7273. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003

Apéndice

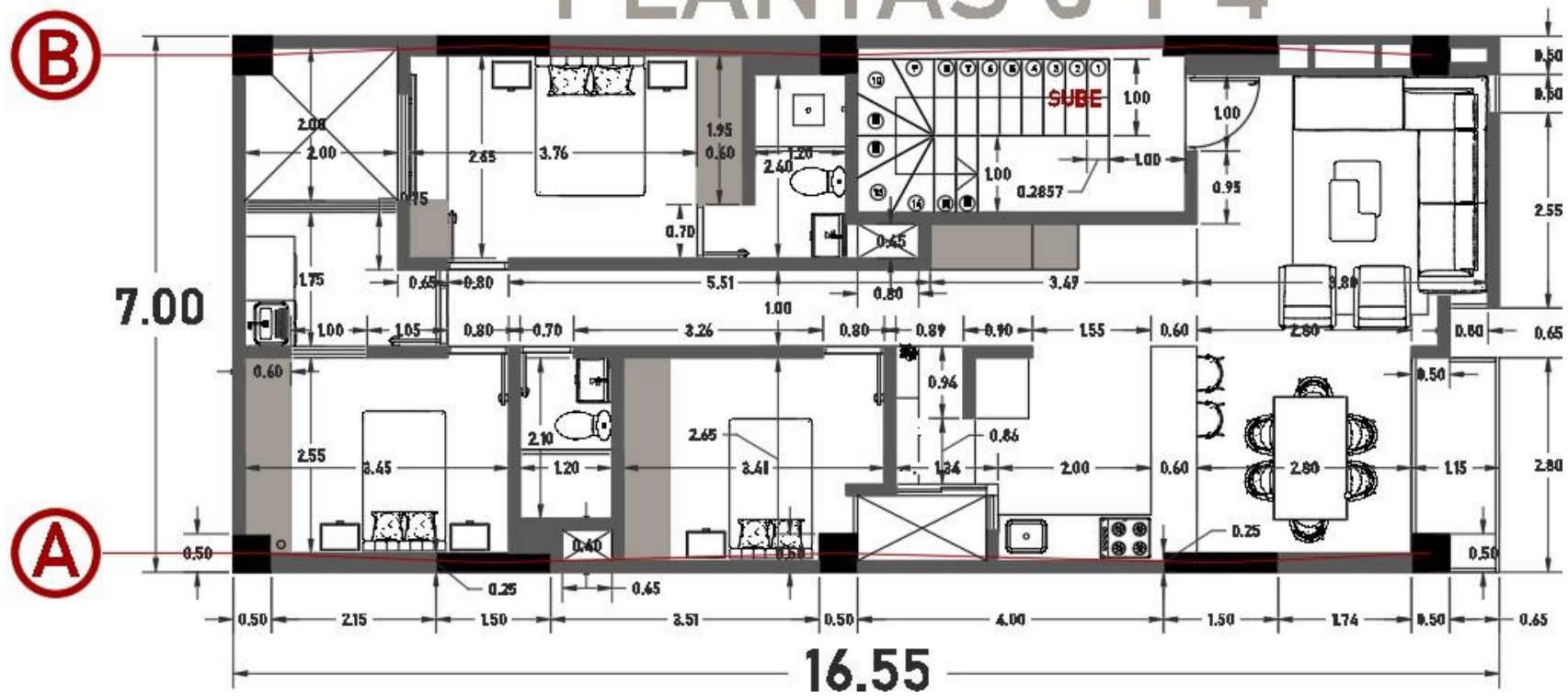
Apéndice A. Planos del proyecto caso de estudio

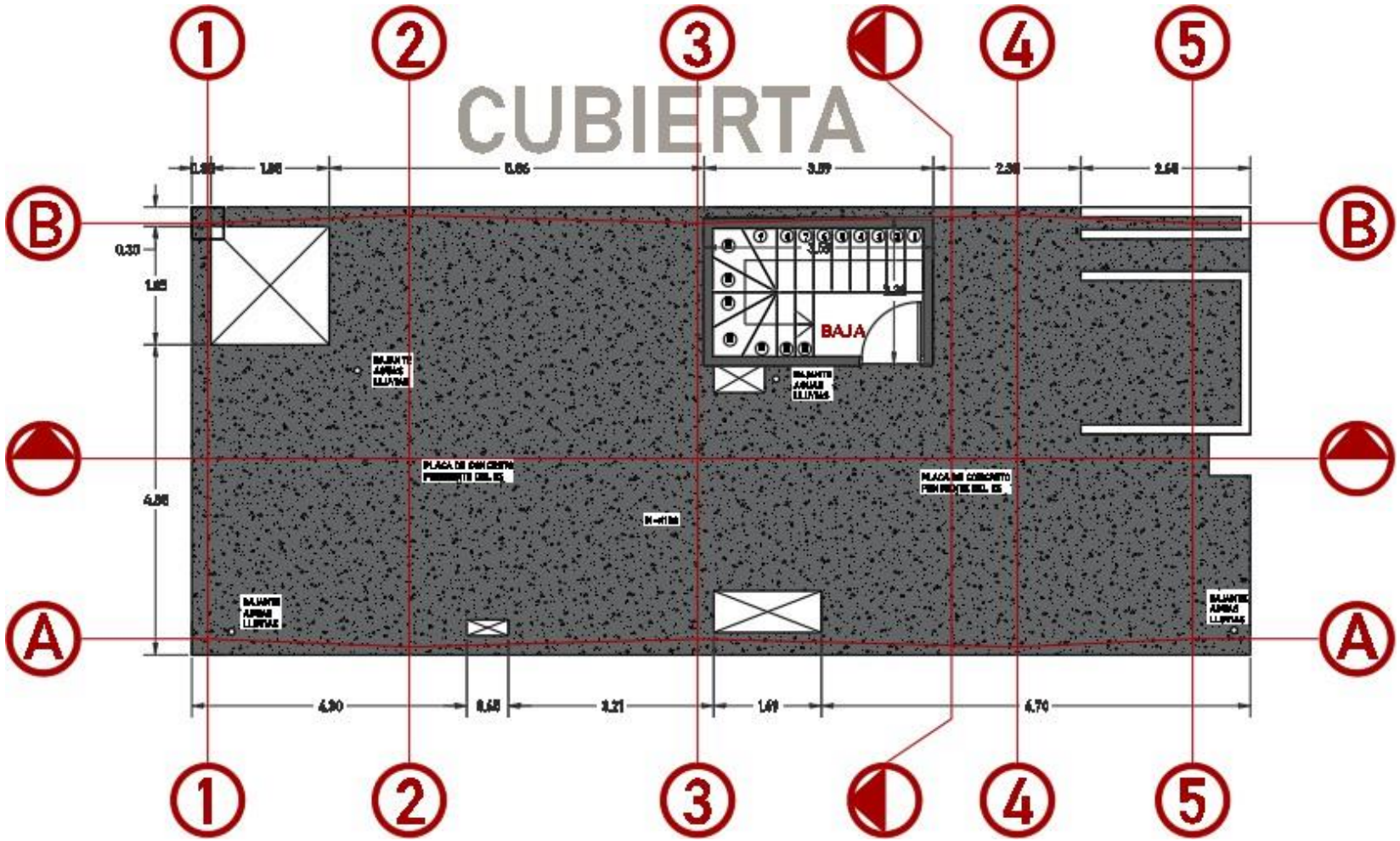


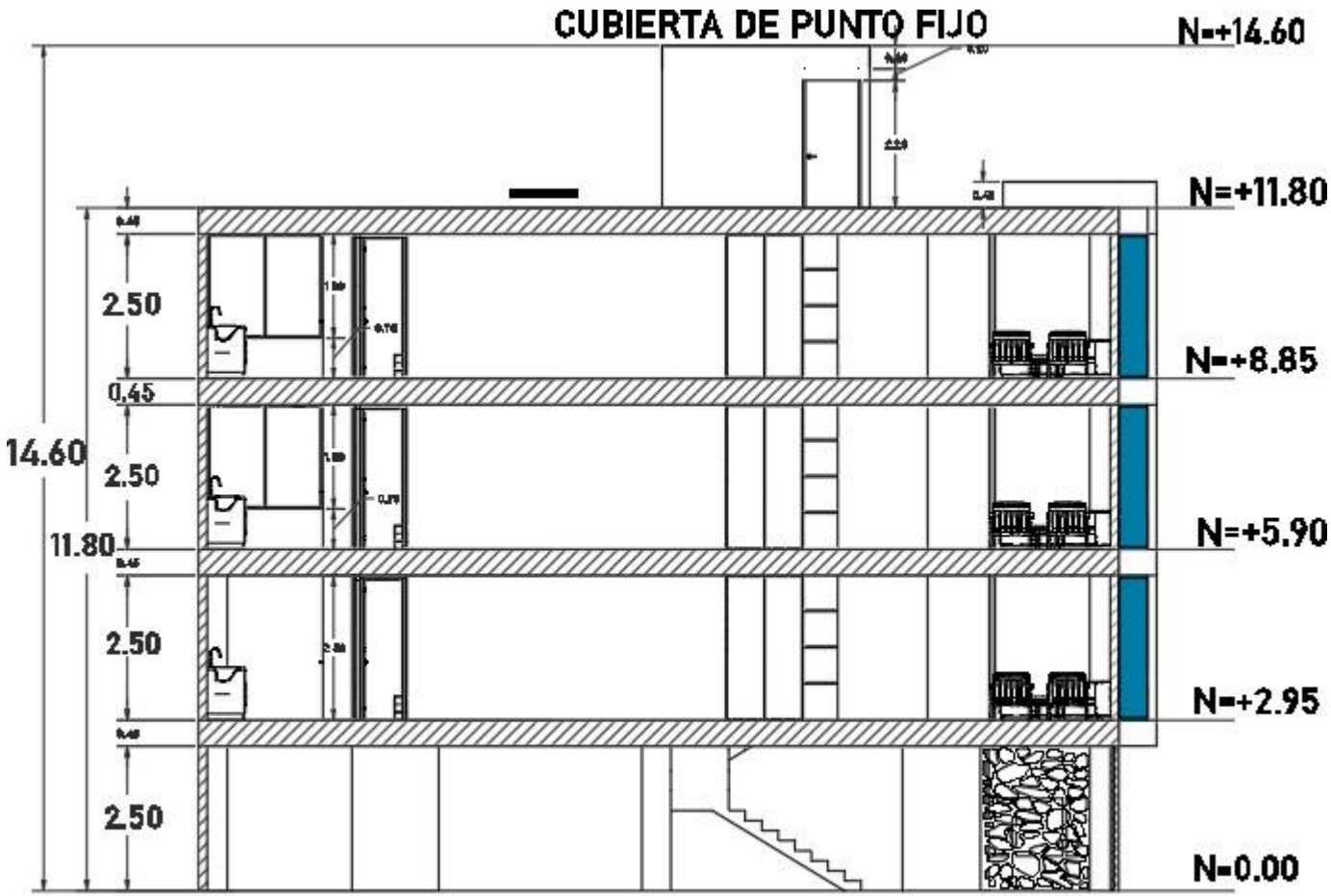

PLANTA 2
1
2
3
4
5
A
B
SUBE
N=+2.95

rica 2D]

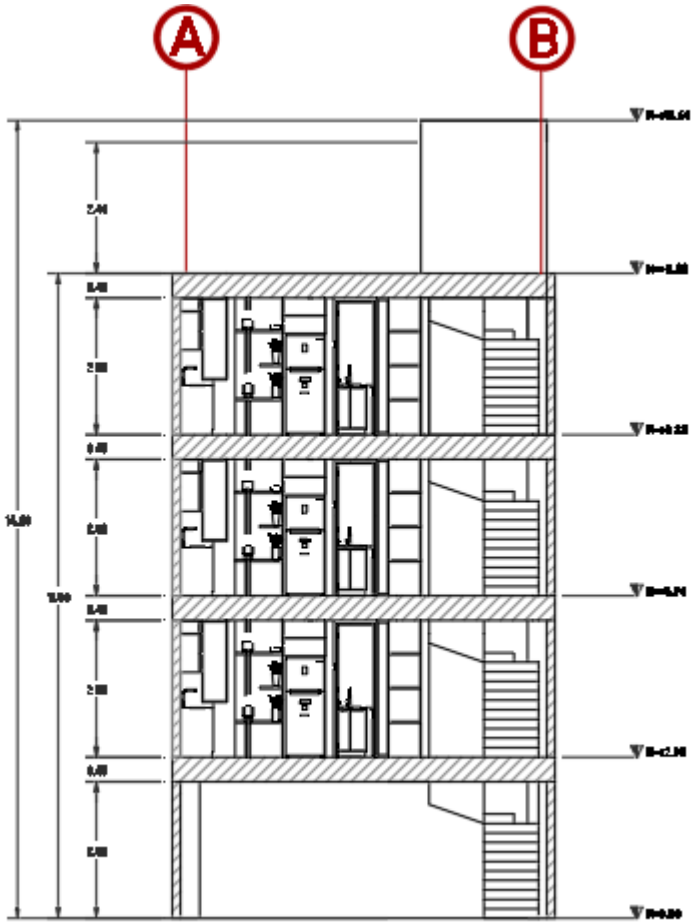
PLANTAS 3 Y 4



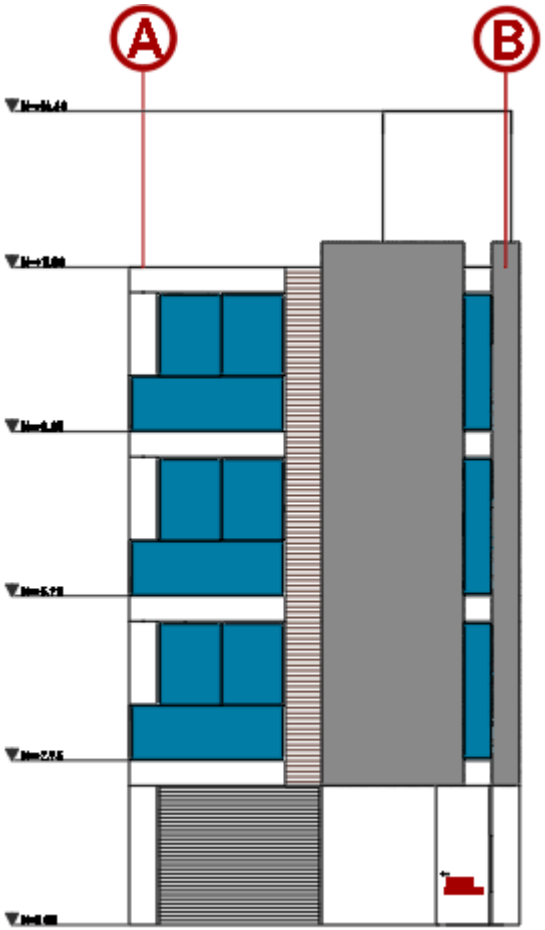

CUBIERTA
1
2
3
4
5
A
B
BAJA



CORTE LONGITUDINAL



CORTE TRANSVERSAL



FACHADA

Apéndice B. Cotizaciones recibidas para el caso de estudio

CICLO

Jakob®
Rope Systems



Proyecto Muro Verde – Ocaña 1124
Cliente Arq. Mauricio Velasquez
Características Sistema de jardín vertical con guayas verticales de 4mm.
Código de Proyecto: 070-24

Características del sistema

Descripción: Sistema de entrenamiento para plantas de crecimiento por apoyo en ramas y tallos utilizando la cuadricula en cable de acero inox 316 vertical de 4mm.

Componentes

- **Cables de acero inoxidable 316, en diámetro de 4 mm. Alma y costura en Inoxidable 316 según imagen de referencia.**
- **Espacio entre cables de 25 a 40 Cm según diseño de cliente**
- **Espaciadores de 10 Cm dimensionados para transferir la fuerza máxima aplicada a la cabeza del espaciado, generada por tención de los cables y movimientos de la planta.**
- **Espacios entre muros y cables mínimo de 10 cm.**
- **Tensores individuales de rosca y terminales en acero inoxidable 316.**



Precio

Sistema de Muros de 9.75 * 2.55 m (Total 24.9 m2)			
Elemento	**unidad**	**cantidad**	**Precio de venta**
Guya 4 mm (9 tramos de 9.75) acero inoxidable 316	Ml	88	
Terminales 1 tipo stop	uni	9	
Terminales 2 tipo rosca	uni	9	$ 3,044,000
Tuercas (NUT - Derecha)	uni	9	
Tuerca terminal (Dome Nut) derecha	uni	9	
Espaciadores de 10 cm acero inox	uni	18	
		Envio por Servientrega	$ 180,000
		Subtotal	**$ 3,224,000**
		IVA	$ 612,560
		Vr. Total	**$ 3,836,560**
		Vr M2	**$ 154,311**

Jakob® Rope Systems

Condiciones comerciales

Alcance y Condiciones Marco de la oferta:

- **Tipo de oferta: Presupuestal.**
- **Vigencia** de la oferta **15 días**. Sujeto a variación en la **TRM de +/- 5%.**
- **El producto será entregado** una dirección urbana en la ciudad de Ocaña en Santander
- **Mano de obra de instalación a Cargo del cliente: Ciclo** proporciona una sesión de entrenamiento virtual y asesoría remota durante el montaje. Se puede cotizar el envío de un técnico de forma separada.
- Los precios reflejados corresponden a las **cantidades referenciadas** en este documento y dadas mediante el plano proporcionado por el área de diseño, en caso de cambiar las cantidades o características el costo tendrá que ser reevaluado.
- **Tiempo de entrega de producto** a acordar según requerimiento del proyecto. Productos disponibles para entrega inmediata, sujetos a venta previa. En caso de importación los tiempos serian de 6 a 8 semanas y los costos sr
- **Los tiempos de importación** están sujetos a disponibilidad de inventarios en fabrica, disponibilidad en transporte y normalidad en tramites de aduana.(sujeto a venta previa)
- **NO INCLUYE:** Chazos, epoxico para anclaje, brocas, taladros o equipos de seguridad para la instalación.

Jakob® Rope Systems

vertín

Noviembre 25 de 2024 - Bogotá, D.C.

Señora
Mauricio Velasquez

Propuesta económica

item	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Kanguro Jumbo	UND	136,0	$ 17.140	$ 2.331.058
2	Sustrato y Material Vegetal (Plantas)	UND	656	$ 5.673	$ 3.719.105
3	Sistema de Riego (JV)	GL	1,0	$ 1.354.480	$ 1.354.480
4	Transporte de Plantas	GL	1,0	$ 142.448	$ 142.448
5	Alquiler Andamios Tubulares	UND	30,7	$ 14.245	$ 437.775
6	Transporte de Andamios	GL	1,0	$ 71.224	$ 71.224
7	Chazos y Tornillos (JV)	UND	284,0	$ 855	$ 242.731
8	Canaletas en Galvanizado (JV)	GL	1,0	$ 399.357	$ 399.357
9	Polietileno Negro Cal. 6 (JV)	m2	31,6	$ 12.535	$ 395.994
10	Mano de Obra	GL	1,0	$ 3.758.663	$ 3.758.663

Costos Directos		$ 12.852.836
Administración	7,0%	$ 899.698
Imprevistos	6,0%	$ 771.170
Utilidad	5,0%	$ 642.642
IVA (19% sobre Utilidad)		$ 122.102
Total		$ 15.288.448
	m2	26,33
	$/m2	$ 580.758

JARDIN VERTICAL ÁREA 26,33 m²

CONDICIONES DE LA PROPUESTA:

- **Tiempo de construcción**: (15) Quince días hábiles después del acta de inicio de obra.
- **Inicio de Obra**: Según agendamiento
- Se requiere anticipo del 50% del valor de la factura para iniciar la obra, el 50% restante tras la emisión de la factura
- **Vr/m²:** $580.758
- Si se requiere una representación visual del área a intervenir, como un render, el costo por unidad es de **$150,000**. Para obtener tres imágenes, el costo sería de **$300,000**. Es importante tener en cuenta que estas representaciones adicionales conllevan un costo adicional, ya que requieren el desarrollo de un diseño preliminar. Este proceso implica un trabajo de aproximadamente tres días hábiles por parte del diseñador.
- No incluye siso.
- No incluye valor de pólizas de ser requeridas.
- Incluye andamio convencional

Todos los contenidos de este documento son propiedad de VERTIN SAS y no podrán ser reproducidos, copiados ni utilizados para ningún fin sin autorización previa, expresa y escrita de VERTIN SAS

- El cálculo de M.O corresponde a 1 cuadrilla de trabajo especializada de (2) dos operarios, todos con prestaciones de ley y asegurados en Riesgo V con Positiva ARL.
- El precio por metro cuadrado se establecerá como valor unitario de base. En el caso de que el área sea mayor o menor, este precio servirá como punto de referencia.
- La presente propuesta incluye precios indicativos con base en la información suministrada por el cliente. En caso de haber variaciones en la información técnica la propuesta tendrá que ser recotizada.
- Vigencia de la propuesta: 30 días.

Todos los contenidos de este documento son propiedad de VERTIN SAS y no podrán ser reproducidos, copiados ni utilizados para ningún fin sin autorización previa, expresa y escrita de VERTIN SAS