AGRICULTURA VERTICAL EN LA ARQUITECTURA URBANA DEL BARRIO EL TINTAL DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ: EVALUACIÓN DE SU VIABILIDAD COMO ESTRATEGIA DE SOSTENIBILIDAD.

Autores

Maikol Alejandro, Pongutá López[1]
Estudiante de Especialización en Gerencia de proyectos de la Universitaria Uniagustiniana.
Coordinador de Posgrados - Universidad Central
(maikol.pongutal@uniagustiniana.edu.co)

Jeeferson Javier, Morera Sarmiento [2]
Estudiante de Especialización en Gerencia de proyectos de la Universitaria Uniagustiniana.
Ingeniero de Proyectos - VyG Proyectos S.A.S
(jeeferson.moreras@uniagustiniana.edu.co)

Samantha Melisa, Moreno Molina[3]
Estudiante de Especialización en Gerencia de proyectos de la Universitaria Uniagustiniana.
Auxiliar de Investigaciones de la Universitaria Uniagustiniana
(samantha.morenom@uniagustiniana.edu.co)

RESUMEN

Este artículo plantea la crisis ambiental y la inseguridad alimentaria en entornos urbanos densos, especialmente en el barrio El Tintal (Kennedy, Bogotá), donde la sobreexplotación de recursos exige soluciones innovadoras. El objetivo general es evaluar la viabilidad de implementar sistemas de agricultura vertical en el tejido arquitectónico de esta localidad para establecer lineamientos de sostenibilidad y seguridad alimentaria de alto impacto. La metodología se basa en una investigación documental con enfoque cualitativo y alcance exploratorio-descriptivo. El estudio integra herramientas de gerencia de proyectos como la Estructura de Descomposición de Trabajo (EDT), la matriz de Riesgos y el análisis de stakeholders para estructurar un modelo de gestión integral. Se concluye que la viabilidad técnica y ambiental es alta, destacando una eficiencia hídrica del 95% y la mitigación de efecto isla de calor local. Sin embargo, la viabilidad socioeconómica es tolerante debido a la elevada inversión inicial y vacíos normativos para la

comercialización. El éxito final depende de una gestión comunitaria sólida y que garantice la sostenibilidad operativa.

Palabras claves: : Agricultura Vertical , Matriz de Riesgos, El Tintal, POT, Sabana de Bogotá, Gestión de Proyectos. **Códigos JEL:** O13, P25, Q01, Q56.

ABSTRACT

This article addresses the environmental crisis and food insecurity in densely populated urban areas, particularly in the El Tintal neighborhood (Kennedy, Bogotá), where the overexploitation of resources calls for innovative solutions. The overall objective is to assess the feasibility of implementing vertical farming systems within the architectural fabric of this neighborhood to establish high-impact guidelines for sustainability and food security. The methodology is based on documentary research with a qualitative approach and an exploratory-descriptive scope. The study integrates project management tools such as the Work Breakdown Structure (WBS), the Risk Matrix, and stakeholder analysis to structure a comprehensive management model. It is concluded that technical and environmental feasibility is high, highlighting 95% water efficiency and the mitigation of the local heat island effect. However, socioeconomic feasibility is limited due to the high initial investment and regulatory gaps regarding commercialization. Final success depends on robust community management that ensures operational sustainability.

Keywords: Vertical Farming, Risk Matrix, El Tintal, POT, Sabana de Bogotá, Project Management. **JEL Codes**: O13, P25, Q01, Q56.

Introducción

En la actualidad, el modelo de vida global está agotando los recursos naturales de manera alarmante, requiriendo el equivalente a 1,6 Tierras para sustentar las demandas actuales. Esta sobreexplotación de los ecosistemas pone en peligro la biodiversidad, contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero y al agotamiento de recursos críticos; se estima que la extracción y procesamiento de materiales, combustibles y alimentos son responsables de la mitad de la contaminación y más de 90% e la pérdida de la biodiversidad (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023). La producción de

alimentos, en particular, genera riesgos de escasez hídrica y crisis de saneamiento, agravados por el uso inadecuado de fertilizantes químicos que vinculan intoxicaciones accidentales y daños a los sistemas neurológicos, inmunitario y reproductivo (Ambientum Portal Ambiental, 2022)

Ante este panorama, es inevitable buscar soluciones que promuevan la sostenibilidad ambiental y reduzcan los impactos negativos de estas actividades. El presente estudio se centra en la localidad de Kennedy, específicamente en el barrio El Tintal, un sector que demuestra los desafíos de la densificación urbana acelerada en Bogotá. El Tintal se ha transformado en una zona de alto tráfico vehicular y paso constante de volquetas que atraviesan el sector, lo que ha derivado en una pérdida crítica de la calidad del aire y el bienestar para sus residentes. Este deterioro ambiental se correlaciona directamente con los niveles críticos de material particulado (PM 2.5) registrados en la localidad, los cuales actúan como un factor de riesgo para la salud pública y justifican la urgencia de intervenciones de mitigación bioclimática. Al ser un sector predominantemente de estrato 3, la población es altamente vulnerable tanto a los impactos en la salud pública como a la inflación de los productos de la canasta básica familiar.

Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, esta investigación propone la agricultura vertical como una alternativa innovadora capaz de mejorar la eficiencia del cultivo, maximizar el uso del espacio y abordar directamente problemas como la escasez de agua y la dependencia de pesticidas. Se plantea esta técnica como una herramienta de retribución social y resiliencia ambiental, capaz de actuar como un filtro biológico contra la contaminación atmosférica y mitigar el efecto de isla de calor local (Secretaría Distrital de Integración Social, 2023). Al incluir tecnica de agricultura vertical y de precisión en las envolventes arquitectónicas, se busca establecer una cultura de autoconsumo que genere un alivio económico directo y mejore la calidad de vida de los habitantes urbanos (Rivera Guerrero & Cortés Arévalo, 2024) Dicha optimizacion técnica se apoya

sustancialmente en la incorporación de tecnologías de monitoreo y control, tales como sensores de humedad, pH y sistemas de internet de las cosas (IoT), que garantizan la autonomía y productividad del sistema con un mantenimiento mínimo por parte de la comunidad.

Ante este panorama, cabe preguntarse ¿En qué medida la integración de sistemas de agricultura vertical en la infraestructura arquitectónica de la localidad de Kennedy es viable, técnica y económicamente, para consolidarse como una estrategia de sostenibilidad urbana de alto impacto?. Con el propósito de resolver dicha problemática, se plantea como objetivo general, evaluar la viabilidad de la implementación de sistemas de agricultura vertical en el tejido arquitectónico de la localidad de Kennedy, con el fin de establecer lineamientos que permitan consolidarla como una estrategia de sostenibilidad y seguridad alimentaria de alto impacto. Para lograr esto, se pretende caracterizar el estado actual de la infraestructura arquitectónica en sectores estratégicos de la localidad de Kennedy, específicamente en el barrio tintal, identificando las variables espaciales y técnicas que condicionan la integración de sistemas de agricultura vertical. En una segunda etapa de carácter comparativo se busca analizar indicadores de sostenibilidad (uso de recursos hídricos, eficiencia energética y reducción de huella de carbono) de la agricultura vertical frente a los modelos de suministro agrícola convencional en la sabana de Bogotá. En última instancia con el fin de validar la viabilidad real se determinará los factores socioeconómicos y normativos que actúan como catalizadores o barreras para la adopción a gran escala de estas tecnologías en el contexto del desarrollo urbano sostenible de la localidad. Para asegurar la factibilidad técnica y administrativa de estas etapas, el estudio emplea herramientas de gestión profesional como la estructura de descomposición (EDT) y la matriz de riesgos, las cuales intervienen como los mecanismos de validación metodológica para determinar la sostenibilidad operativa del proyecto en el tiempo.

Metodología

Alcance metodológico

La estrategia metodológica de este trabajo se estructura como una investigación de carácter documental con un enfoque cualitativo y alcance descriptivo. Esta tiene como objetivo analizar el alcance potencial de la agricultura vertical como un aporte sostenible en la arquitectura de las zonas urbanas de la ciudad de Bogotá.

La investigación se delimita espacialmente en la UPZ Tintal Norte (No. 78), la cual presenta una extensión de 183,4 hectáreas y una población de 27.407 habitantes (Secretaría distrital de planeación, 2020). Esta cifra evidencia una ciudad compacta con escasa disponibilidad de suelo libre para el cultivo tradicional.

Partiendo de fuentes secundarias se analiza la problemática ambiental global y nacional, y se examina la viabilidad de la agricultura vertical como alternativa para mitigar impactos ambientales y sociales:

"*Según expertos, la agricultura vertical podría ser la respuesta a muchos de los problemas ambientales que genera la agricultura tradicional, degradación de suelos, emisión de gases de efecto invernadero, consumo masivo de agua y, al mismo tiempo, al desafío de alimentar a una población mundial que, según se estima, llegará a los 10 mil millones en 2050*" (Agronet, 2021).

El alcance del estudio es descriptivo, ya que se propone caracterizar las particularidades de la agricultura vertical a partir de experiencias ya implementadas a escala. Se toma como referente Japón, donde este sistema se ha impulsado como una alternativa sostenible para responder a la escasez de suelo cultivable, la geografía montañosa y la alta densidad demográfica (Opticlimate Farm, 2024).

Enfoque metodológico

El enfoque metodológico es cualitativo, debido a que el propósito central es comprender la agricultura vertical desde su impacto ambiental, social y económico, y no desde una medición estadística.

Para ello se recurre principalmente a fuentes secundarias como informes de organismos

internacionales, estudios institucionales, normativas y estudios académicos.

El estudio adopta un enfoque de gerencia de proyectos para estructurar y validar los resultados, integrando herramientas de los marcos de prácticas internacionales, específicamente en la gestión de stakeholders, análisis de riesgos y mejora continua de la guía PMBOK del Project Management Institute. Esta guía justifica la selección de la Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT) como herramienta para desglosar los componentes del sistema de agricultura vertical y de la matriz de riesgos para identificar criterios de factibilidad social y técnica, económica y operativa del proyecto propuesto.(Project Management Institute, 2021).

Implementando esta metodología, la investigación no se limita a una revisión documental y se incorpora un marco de gestión de proyectos para transformar la información en un modelo de implementación, identificando riesgos, dependencias y estrategias de mitigación.

Los métodos empleados son analíticos e históricos, el primero nos permite relacionar los principales factores implicados como la contaminación del suelo, enfocando el proyecto en el aprovechamiento de los espacios de manera eficiente para convertir espacios existentes en lugares de vivienda y trabajo (González, 2022). Con esto demostramos que, en lugar de buscar tierras para cultivo, podemos usar los espacios que tenemos en la ciudad para producir comida sin dañar el medio ambiente

Eventualmente se incorporarán datos numéricos como porcentajes de reducción de CO2, consumo de agua, producción de alimentos pero se usarán como complemento para ilustrar escenarios o ejemplos y no como un eje de un desarrollo cuantitativo.

Universo, población y participantes

Esta investigación se desarrolla bajo un diseño documental el cual contará con muestras y referencias estadísticas directas de los estudios realizados. El universo está constituido por propiedad bibliográfica y técnica referente a crisis ambientales, políticas urbanas y agricultura vertical, delimitando el análisis espacial a la

infraestructura arquitectónica y el uso del suelo en ciudades y sectores similares a la localidad de Kennedy, queriendo enfocar el proyecto en el barrio Tintal.

El éxito de este proyecto podría influir en la formulación de políticas y regulaciones que respaldan la Agricultura Vertical en Bogotá, cumpliendo con la Ley 101 de 1993 que promueve el desarrollo del sistema agroalimentario nacional (*Ley 101 De 1993 - Gestor Normativo*, n.d.). Esto podría incluir incentivos fiscales y apoyo gubernamental para facilitar su implementación

Se excluyen documentos que no aporten información sustantiva al problema planteado, que presenten datos desactualizados o cuya fiabilidad no pueda verificarse. Al no involucrar personas ni datos sensibles, los compromisos éticos se centran en el respeto a la propiedad intelectual y la integridad en el manejo de datos secundarios, garantizando que la interpretación de las cifras de impacto ambiental y viabilidad económica en el Tintal sea fiable y objetiva.

Levantamiento de información

Se emplean técnicas propias de la investigación documental, en primer lugar se realiza una revisión bibliográfica sistemática de informes, artículos, libros, documentos técnicos y material audiovisual relacionados con los temas de agricultura vertical, arquitectura urbana y sostenibilidad ambiental. En segundo lugar se utilizan matrices de análisis que permitan comparar la información entre distintas fuentes, finalmente se integran los aportes recogidos.

Estos instrumentos son coherentes con un enfoque cualitativo debido a que priorizan la interpretación, la comprensión y la construcción del sentido a partir de textos y datos secundarios, más que de la medición numérica directa.

Validez y rigor metodológico

Para garantizar la validez y rigor se contemplan mecanismos como la triangulación de fuentes que se basa en confrontar la información procedente, donde principalmente se pretende se busca soportar la mejorar y eficiencia de los cultivos verticales y maximizar el uso del espacio.

Como menciona Agropinos: "Uno de los productos para el agro más empleados para realizar estos revestimientos son las geomembranas de polietileno que podrás adquirir en diferentes densidades." (*Agropinos*, 2025). Se procura que las fuentes seleccionadas sean actuales y pertinentes, dando prioridad a los documentos más recientes y directamente relacionados a la investigación.

Basado en datos estadísticos se evidencia el aumento demográfico, la degradación del suelo, el cambio climático, la desnutrición a nivel global, la escasez de alimentos, la reducción de la biodiversidad, la contaminación de cuerpos de agua, la tala de bosques y el exceso de nutrientes acumulados forman parte de los grandes retos ambientales del planeta. (Pérez & Diaz, 2019).

Por lo cual este método de recopilación de información es eficiente y contundente, para soportar el proyecto en mención.

De esta manera la estrategia metodológica propuesta permite construir una análisis fundamentado sobre el potencial de la agricultura vertical como aporte sostenible en la arquitectura urbana.

Resultados

Caracterización de la Infraestructura y Variables para la Agricultura Vertical en El Tintal (Kennedy)

La localidad de Kennedy, específicamente el sector de El Tintal, representa hoy el paradigma de la densificación urbana acelerada en Bogotá. Este territorio, que ha transitado de un pasado industrial y de humedales hacia un modelo de ciudadelas residenciales de alta densidad, enfrenta desafíos críticos de la infraestructura vial y el endurecimiento del suelo han intensificado fenómenos como la isla de calor urbana, reduciendo drásticamente las áreas destinadas al intercambio biótico. En este escenario, la caracterización de su infraestructura arquitectónica no es solo un ejercicio técnico, sino una necesidad estratégica para identificar cómo las estructuras existentes pueden evolucionar.

Comprender las variables espaciales y técnicas del entorno construido en El Tintal es el primer paso para transformar

superficies inertes en nodos de producción activa, permitiendo que la arquitectura deje de ser un límite y se convierta en un soporte para la vida a través de la agricultura vertical.

1. Diagnóstico del Estado Actual: Modelo de “Ciudadelas Densificada”

El barrio El Tintal se ha consolidado como un caso de estudio crítico sobre densificación urbana en Bogotá. Bajo el modelo de ciudades residenciales, el sector presenta una configuración arquitectónica que condiciona directamente cualquier intervención de agricultura urbana, puesto que la predominancia de edificaciones multifamiliares (estratos 2 y 3) de 6 a 12 niveles ha generado un entorno donde el apartamento promedio (50 metros cuadrados) carece de áreas privadas de cultivo (balcones amplios o patios). Esta asfixia espacial obliga a desplazar la oportunidad productiva hacia las fachadas y cubiertas comunes del edificio. En la consolidación de proyectos viales como la “Avenida Guayacanes” hecha entre 2024 y 2025, incrementó el coeficiente de escorrentía y endurecimiento del suelo provocando la transición de una zona históricamente de humedales y tratamiento industrial, hacia un uso residencial intensivo que ha eliminado casi por completo el suelo blando, provocando que la agricultura vertical sea una opción para una necesidad de resiliencia ambiental y no solo estética. Debido a la pavimentación extensiva y la falta de masa arbórea densa, El Tintal registra un efecto de isla de calor local. La integración de capas vegetales en altura (agricultura vertical) actual como una estrategia de mitigación bioclimática, capaz de reducir la inercia térmica de las edificaciones y mejorar el confort interior. (Secretaría Distrital de Integración Social, 2023)

2. Variables Espaciales: La configuración del Sitio

Para que un sistema de agricultura vertical sea viable en este sector de Kennedy, deben analizarse tres variables críticas de sitio. La primera es la disponibilidad de “Quinta Fachada” puesto a que la mayoría de los conjuntos en El Tintal poseen cubiertas

planas (placas de concreto). Actualmente, estas áreas son “espacios muertos” destinados a maquinaria o tendido de ropa. Su aprovechamiento requiere un análisis de servidumbres de vista y acceso para transformarlos en nodos productivos comunitarios. (Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, 2024)

La segunda crítica del sitio es la relación de fachada y radiación PAR, ya que, la alta densidad constructiva genera un fenómeno de auto-sombreado. Para la agricultura vertical, la orientación es el factor determinante: en el contexto de Bogotá las fachadas con orientación norte-sur son las más eficientes para maximizar la Radiación Fotosintéticamente activa (PAR), evitando los bloqueos lumínicos de las torres adyacentes. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2024)

Por último, el aislamiento térmico y microclima. Los sistemas verticales no solo producen alimentos: funcionan como una “piel” protectora. Se estima que una fachada vegetal bien implementada en este sector puede reducir la temperatura superficial de los muros hasta en 10° centígrados, impactando positivamente en el consumo energético de los residentes.

3. Variables Técnicas y Requerimientos del Sistema

La implementación técnica en edificios de vivienda de interés social (VIS) que predominan en El Tintal, exige una ingeniería de bajo impacto. Los edificios VIS tienen márgenes de carga limitados en sus placas de cubierta. Por eso, es necesario el uso de sistemas hidropónicos o aeropónicos de circuito cerrado que se priven de la tierra (cuyo peso saturado es inviable). Esta restricción de carga estructural en las placas de concreto de los edificios VIS condiciona la ingeniería del sistema y determina directamente la selección de especies vegetales.

Por ende, la selección de cultivos de ciclo corto y bajo peso biótico definida en el Nivel 1.1.1 de la estructura de desglose del trabajo (EDT) responde estratégicamente a este hallazgo técnico, asegurando que la producción no comprometa la integridad de la infraestructura existente.

AGRICULTURA VERTICAL EN LA ARQUITECTURA URBANA DEL BARRIO EL TINTAL DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ: EVALUACIÓN DE SU VIABILIDAD COMO ESTRATEGIA DE SOSTENIBILIDAD.

PONGUTÁ-LOPEZ, M.A, MORERA-SARMIENTO, J.J, MORENO-MOLINA, S.M.

Ante los ciclos de racionamiento en Bogotá (2024-2025), la variable técnica más importante es la resiliencia hídrica. El sistema debe integrar tanques de recolección de agua lluvia y sistemas de recirculación que reduzcan el consumo hasta en un 90% comparado con la agricultura tradicional, evitando sobrecostos en las facturas de servicios públicos de la comunidad.

Para terminar, debido a que muchas estructuras verticales se ubican en lugares de difícil acceso manual (paredes altas o cornisas), se hace necesaria la instalación de nodos de control. Sensores de humedad, conductividad eléctrica (nutrientes) y pH, permiten una gestión remota, garantizando que el sistema sea productivo con un mantenimiento mínimo por parte de los residentes; esto es denominado como la automatización e IoT (Internet de las cosas)

La integración de sistemas de agricultura vertical en El Tintal está condicionada por una interdependencia técnica entre la capacidad de carga de las edificaciones VIS, la gestión eficiente del recurso hídrico en tiempo de estrés ambiental y la optimización de la radiación solar en fachadas densamente agrupadas. Sin embargo, más allá de los requerimientos de ingeniería o la automatización mediante IoT, estas variables constituyen la base para un cambio estructural en la seguridad alimentaria de la localidad de Kennedy, al caracterizar y adaptar la “quinta fachada” y las envolventes de los edificios, se habilita un espacio de bajo costo y no solo la producción de alimentos frescos, fortaleciendo el tejido social.

Concluyendo la primera parte, la viabilidad técnica en El Tintal depende de una interacción absoluta entre el diseño estructural liviano y la automatización IoT. Como se detalla en la tabla 3 (Nivel 1.4) de la gestión del proyecto, el uso de sensores es un componente estético y una herramienta que permite alcanzar los altos niveles de eficiencia operativa y climática que se analizan a continuación en la comparativa frente al modelo tradicional.

AGRICULTURA VERTICAL EN LA ARQUITECTURA URBANA DEL BARRIO EL TINTAL DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ: EVALUACIÓN DE SU VIABILIDAD COMO ESTRATEGIA DE SOSTENIBILIDAD.

PONGUTÁ-LOPEZ, M.A, MORERA-SARMIENTO, J.J, MORENO-MOLINA, S.M.

Comparativa de Indicadores de Sostenibilidad: Agricultura Vertical (El Tintal) vs Convencional (Sabana de Bogotá)

Tras definir las capacidades y limitaciones de la infraestructura física en El Tintal, resulta necesario evaluar su rendimiento ambiental frente al modelo de suministro agroindustrial convencional de la sabana de Bogotá. Este segundo apartado se propone analizar indicadores críticos de sostenibilidad, eficiencia hídrica, huella de carbono y demanda energética, para determinar si la migración de la producción de alimentos al corazón urbano de Kennedy representa una ventaja competitiva real. En un contexto regional marcado por el estrés hídrico y la urgencia climática, este comparativo técnico permite validar la agricultura vertical como una solución espacial y un modelo de eficiencia de recursos indispensable para la resiliencia del barrio.

1. Gestión del Recurso Hídrico: Resiliencia ante el Estrés Hídrico Regional

La agricultura convencional en la Sabana de Bogotá depende críticamente de fuentes superficiales y subterráneas que han mostrado vulnerabilidad durante los periodos de racionamiento de 2024 a 2025. El riego por aspersión o inundación presenta una eficiencia de promedio del 40% al 50%, con altas tasas de pérdida por evaporación y lixiviación de agroquímicos hacia la cuenca del río Bogotá. Por otro lado, el modelo vertical utiliza sistemas de recirculación de circuito cerrado (NFT o aeroponía), logrando una reducción del consumo de agua de hasta el 95%. (Mog Pérez & Quimbay Diaz, 2019)

La infraestructura de las ciudadelas permite la cosecha de agua lluvia (aprovechando el régimen pluviométrico de la zona). Al filtrar y almacenar el agua de las cubiertas, el sistema se desacopla parcialmente de la red de acueducto, convirtiendo al edificio en una infraestructura hídricamente autónoma.

(Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2025)

2. Eficiencia Energética y Logística de "Kilómetro Cero"

El análisis de eficiencia no solo incluye el consumo eléctrico, sino la energía embebida en el transporte y la conservación de los alimentos. Los productos de la sabana recorren entre 20 y 60 kilómetros para llegar a los centros de acopio en Kennedy. Se estima que en esta cadena logística se pierde hasta el 30% de la biomasa comestible debido a la manipulación y fallas en la cadena de frío. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023)

La agricultura vertical elimina la necesidad de transporte pesado diesel. Aunque requiere energía para el bombeo e iluminación complementaria, la ubicación ecuatorial de Bogotá ofrece una estabilidad de fotoperiodo (12 h de luz) que permite usar luz natural en fachadas orientadas, reduciendo el gasto energético comparado con sistemas verticales en otras latitudes. La producción en El Tintal reduce las millas de alimento a metros, garantizando un producto con mayor densidad nutricional y menos energía logística acumulada. (Secretaría Distrital de Integración Social, 2023)

3. Mitigación de huella de carbono y calidad del aire local

Kennedy es una de las localidades con mayores niveles de material particulado (PM2.5) en Bogotá. La agricultura vertical actuaría como una tecnología de mitigación dual. Al sustituir parte del suministro que llega en camiones de carga pesada a Corabastos, se reduce la emisión de Co2 y partículas derivadas de la combustión diesel en el perímetro de la localidad.

Las paredes y cubiertas vegetales en El Tintal funcionan como sumideros de carbono y filtros de aire. La vegetación vertical captura el material particulado en suspensión, mejorando el microclima local reduciendo la temperatura de las edificaciones en un promedio de 3 a 5 centígrados, lo que disminuye indirectamente la demanda energética de

refrigeración si fuera necesaria. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2024)

Concluyendo el segundo objetivo, el análisis comparativo demuestra que la transición hacia modelos de agricultura vertical en entornos hiper-densos como El Tintal representa una ventaja competitiva en términos de sostenibilidad frente al suministro convencional de la Sabana. Mientras el modelo tradicional enfrenta rendimientos decrecientes debido al estrés hídrico y la degradación del suelo, la propuesta vertical optimiza los recursos mediante la economía circular del agua y la eliminación de la huella de carbono logística. Este cambio de paradigma asegura un suministro alimentario más limpio y eficiente y posiciona a la infraestructura arquitectónica de Kennedy como un agente activo en la mitigación del cambio climático y mejora de la calidad de vida urbana.

Análisis de viabilidad desde la gerencia de proyectos

Desde el panorama de la gerencia de proyectos, esta investigación va más allá del diseño arquitectónico. Se propone estructurar un modelo de gestión integral que permita evaluar la viabilidad técnica, económica y operativa de los sistemas de agricultura vertical.

Para lograrlo, se utiliza una Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT), con la cual se podrá identificar de manera clara los componentes claves del sistema de agricultura vertical. Entre los cuales se encuentran la infraestructura, el sistema hídrico, la incorporación de tecnología IoT y la gestión comunitaria.

Bajo este enfoque, también se realiza un análisis de riesgos cualitativo que permite identificar posibles dificultades. Entre los principales riesgos se encuentra la resistencia social, las limitaciones normativas y los cambios en el clima urbano. Estos factores se evalúan según su probabilidad e impacto, con el fin de

plantear estrategias que permitan mitigar y reducirlos.

Se desarrolla un análisis de stakeholders para identificar los principales actores, como los residentes del sector, las administraciones de los conjuntos, y las entidades distritales. Este análisis nos permite definir su nivel de interés e influencia, asegurando que el proyecto responda a las necesidades de la comunidad.

Finalmente, la propuesta se organiza siguiendo las etapas del ciclo de vida del proyecto.

1. Estructura del proyecto

En articulación con los anteriores, se presentan herramientas propias de la gerencia de proyectos utilizadas como apoyo para analizar la viabilidad del proyecto en la tabla 1 se realiza una matriz de riesgos tipo cualitativo, en la tabla 2 se realiza la identificación de los stakeholders y en la tabla 3 se construye la estructura de descomposición del trabajo (EDT), con el fin de identificar los principales componentes del sistema de agricultura vertical.

Tabla 1. Matriz de Riesgos

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Nivel / Estrategia
Inversión inicial	Media	Alto	Alto - Implementación por fases
Resistencia de la comunidad	Alta	Alta	Alta - Socialización previa
Cambio climático urbano	Medio	Bajo	Bajo - Implementación de sistemas controlados
Costos de mantenimiento	Medio	Medio	Medio - Automatización y eficiencia
Normatividad	Media	Alta	Medio - Asesoría legal

Tabla 1. Fuente: Elaboración propia (2026)

La tabla 1 identifica los principales riesgos, entre los que se encuentran:

- Resistencia social y falta de cultura
- Cambios normativos
- Inversión inicial

Para mitigar los riesgos sociales se propone desarrollar un plan de participación con talleres, donde se puedan exponer las beneficios por podría generar este modelo de proyecto. El riesgo de inversión inicial se podría mitigar recurriendo a subsidios o incentivos por parte de entes distritales.

En términos generales, la mayoría de los riesgos se encuentran en niveles tolerables con las estrategias propuestas, lo que respalda la viabilidad del proyecto.

Tabla 2. Matriz de Stakeholders

Actor	Nivel de interés	Nivel de influencia	Estrategia de gestión
Residentes	Alto	Alto	Participación activa
Administración del conjunto	Alto	Alto	Toma de decisiones
Entidades distritales	Medio	Alto	Acompañamiento
Proveedores	Medio	Medio	Alianzas
Comunidad local	Medio	Bajo	Capacitación

Tabla 2. Elaboración propia (2026)

La matriz de Stakeholders evidencia que los residentes y administración del conjunto tiene una alto interés y una alta influencia, lo que implica que se debe priorizar una participación comunitaria junto a una articulación con entidades distritales.

Tabla 3. Plan de Implementación del Sistema

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1.1 Diseño	1.1.1 Análisis de fachadas	1.1.2 Selección de cultivos
1.2 Infraestructura	1.2.1 Instalación de estructuras	1.2.2 Adecuación de cubiertas
1.3 Sistema hídrico	1.3.1 Recolección de aguas lluvias	1.3.2 Sistemas de recirculación
1.4 Tecnología	1.4.1 Sensores IoT	1.4.2 Automatización
1.5 Socialización	1.5.1 Socialización	1.5.2 Capacitación

Tabla 3. Elaboración propia (2026)

La tabla 3 presenta la EDT del proyecto, dividida en cuatro niveles principales:

- Nivel 1: Gestión general del proyecto
- Nivel 2: Componentes técnicos.
- Nivel 3: Integración del proyecto

La coherencia de esta estructura de gestión (EDT) se valida con los resultados técnicos obtenidos. Por ejemplo, el hallazgo de un ahorro hídrico potencial del 95% justifica la profundidad técnica asignada al (Nivel 1.3) de la Tabla 3, donde la recirculación se convierte en el paquete de trabajo crítico. Igualmente, la implementación de sensores IoT es lo que garantiza que los beneficios de mitigación terminal de hasta 10°C sean sostenibles en el tiempo sin recurrir a una intervención manual excesiva. Este análisis permite identificar que el mayor esfuerzo se concreta en la integración técnica con la infraestructura existente y las políticas de gobernanza comunitaria, aspectos críticos en conjuntos residenciales, mitigando así el

riesgo de resistencia comunitaria por carga operativa identificado en la Tabla 1.

Validación de Viabilidad Socioeconómica y Normativa

Una vez establecidas la superioridad técnica y el impacto ambiental positivo de los sistemas verticales frente al modelo de suministro tradicional de la sabana, el análisis debe trasladarse del plano teórico al plano ejecutable. No basta con demostrar que estos sistemas ahorran agua o reducen emisiones; es importante evaluar si la estructura social y legal de Bogotá está preparada para sostener este cambio. Por lo tanto, este tercer apartado se enfoca en validar la viabilidad real del proyecto, explorando los factores socioeconómicos que motivan a los residentes de El Tintal y los marcos normativos que motivan a los residentes de El Tintal y los marcos normativo que, en la práctica, actúan como catalizadores o barreras para una adopción a gran escala en el tejido urbano de Kennedy.

1. Factores socioeconómicos: De la inversión al impacto comunitario

La adopción a gran escala en El Tintal (estratos 2 y 3) depende menos de la tecnología y más de la estructura de costos y la organización social. En un contexto de inflación de alimentos (2024-2025), la capacidad de producir hortalizas de ciclo corto (lechugas, espinacas, aromáticas) en el propio conjunto residencial actúa como incentivo económico directo. Se estima que una huerta vertical comunitaria puede cubrir hasta el 20% de la demanda de vegetales frescos de los hogares participantes.
El costo de instalación de sistema hidroponía automatizada con sinsonte IoT sigue siendo elevado para el presupuesto promedio de una administración de propiedad horizontal en Kennedy. Sin subsidios distritales o modelos de “leasing” tecnológico, la inversión inicial se percibe como un riesgo financiero.
En El Tintal, el uso de área comunes (terrazas) requiere la aprobación de asambleas de copropietarios. La falta de una cultura de co-gobernanza puede ser la mayor barrera; sin embargo, si se presenta como un proyecto de valorización del inmueble, se convierte en un catalizador de cohesión

social. (Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, 2024)

2. Marco Normativo: El POT "Bogotá Reverdece 2022-2035"

La normativa actual en Bogotá ha pasado de ignorar la agricultura urbana a convertirla en una pieza central del ordenamiento territorial.

- Decreto 555 de 2021 (POT): Es el principal catalizador normativo. Clasifica la agricultura urbana como un uso del suelo permitido y deseable en zonas residenciales de alta densidad. También, promueve los "EcoUrbanismos" en localidades como Kennedy para mitigar el déficit de zonas verdes. (Secretaría distrital de planeación, 2024)
  Aunque este decreto es un gran catalizador, la ley 675 de 2001 (propiedad horizontal) sigue siendo el marco que rige las decisiones en las ciudadelas de El Tintal, lo que hace que la gestión social sea tan importante como la técnica.
- Incentivo tributarios (Acuerdo 816 de 2021 con actualizaciones de 2024): Existen descuentos en el Impuesto Predial para edificaciones que demuestren sostenibilidad (certificaciones tipo LED o equivalentes locales). La implementación de agricultura vertical en fachadas y cubiertas puede facilitar el acceso a estos beneficios fiscales para los conjuntos residenciales de El Tintal. (Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, 2024)
- Barrera Normativa (Vacío en Comercialización): Existe una "zona gris" legal sobre la venta de excedentes de producción en conjuntos residenciales. La normativa sanitaria (INVIMA) para micro-cultivos urbanos aún es compleja, lo que limita que estas huertas pasen de ser de autoconsumo a ser pequeños negocios comunitarios sostenibles.

Tabla 4. Análisis de Motores y Barreras

Categoría	Motores	Barreras (Obstáculos)
Económica	Ahorro en canasta básica y valorización de la propiedad.	Altos costos de mantenimiento y reposición tecnológica.
Social	Programas de formación del SENA y Jardín Botánico (2024).	Conflictos por el uso de áreas comunes en edificios densos.
Normativa	POT 2022–2035 y beneficios en el Impuesto Predial.	Complejidad en registros sanitarios para venta de excedentes.
Técnica	Disponibilidad de internet (IoT) en El Tintal para monitoreo.	Complejidad en registros sanitarios para venta de excedentes.
Técnica	Disponibilidad de internet (IoT) en El Tintal para monitoreo.	Escasez de mano de obra técnica para mantenimiento de sistemas.

Tabla 4: Elaboración propia (2026)

En definitiva, la validación de la viabilidad para la agricultura vertical en El Tintal revela un escenario de contrastes significativos. Por un lado, el marco normativo actual, liderado por el POT y los recientes acuerdos de incentivos tributarios, constituye una catalizador potente que permite el camino legal para la transformación de las envolventes arquitectónicas. Asimismo, la barrera del costo inicial de inversión y los vacíos en la regulación para la comercialización de excedentes dentro de la propiedad horizontal representan desafíos que aún deben ser gestionados. Sin embargo, al evaluar el ahorro en la canasta básica familiar y el fortalecimiento de seguridad alimentaria local, se concluye que el modelo es socioeconómicamente viable. El éxito de su implementación masiva en Kennedy no dependerá únicamente de la tecnología, sino de una gestión comunitaria sólida que logre alinear los beneficios económicos individuales con la visión de un desarrollo urbano verdaderamente sostenible y productivo.

Lineamientos Estratégicos para la Sostenibilidad en El Tintal

Como resultado de la evaluación de viabilidad técnica, ambiental y de gestión se proponen los siguientes lineamientos para la implementación efectiva de la agricultura vertical en el sector:

1. Priorización de la Envolvente Arquitectónica: Toda intervención debe priorizar las fachadas con orientación norte-sur para maximizar la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y mitigar el fenómeno de autosombreado detectado en la

caracterización de las ciudades densificadas.

2. Optimización Hídrica y Tecnológica: Es importante el uso de sistemas de circuito cerrado (NFT o aeroponía) que garanticen el ahorro hídrico del 95% identificado en este estudio. Tales sistemas deben estar vinculados obligatoriamente a nodos de control IoT para asegurar el monitoreo remoto del pH y nutrientes, reduciendo el riesgo de fallo por falta de mantenimiento manual.
3. Gestión de Carga y Materiales: Establecida la limitación de carga de las placas de concretos en edificios VIS, se implanta como lineamiento el uso exclusivo de sustratos inertes livianos (cascarilla de arroz o fibra de coco) y estructura de soporte que no comprometan la integridad estructural de la infraestructura existente.
4. Gobernanza y Sostenibilidad Social: La viabilidad del proyecto depende de una fase previa de socialización comunitaria Tabla 3 (Nivel 1.5 de la EDT) que alinee los beneficios de la Ley de Propiedad Horizontal (Ley 675 de 2001) con incentivos tributarios de sostenibilidad vigentes en el distrito, transformando la resistencia social en participación activa.

Discusión

La incorporación de la agricultura vertical en El Tintal se posiciona como una herramienta de resiliencia urbana que permite mitigar la vulnerabilidad alimentaria al transformar la densidad arquitectónica en una oportunidad de autogestión. Al contrastar estos resultados con la literatura técnica, se observa una coincidencia con lo planeado por (Rivera Guerrero & Cortés Arévalo, 2024) respecto al uso de tecnologías de precisión para optimizar espacios reducidos. Sin embargo, mientras la literatura resalta la eficiencia teórica, este estudio identifica que en el contexto específico de Kennedy, la disponibilidad de la “quinta fachada” y la arquitectura plana son facilitadores físicos

reales para aprovechar espacios muertos y reducir el impacto ambiental local.

Al comparar el modelo propuesto con la agricultura convencional de la Sabana de Bogotá, se evidencia una superioridad técnica indiscutible en términos de eficiencia de recursos. Mientras que la agricultura tradicional presenta deficiencias hídricas de apenas el 40% y 50% debido a la evaporación y lixiviación, el sistema vertical de circuito cerrado en El Tintal alcanza un ahorro del 95%. Este hallazgo es crítico en un escenario de estrés hídrico regional y ciclos de racionamiento. Adicionalmente, la logística de "kilómetro cero" elimina la huella de carbono del transporte diesel y plantea la pérdida de biomasa comestible, estimada en un 30% en las cadenas de suministro tradicionales.

A diferencia de experiencias en contextos menos densos, como el estudio de (Mog Pérez & Quimbay Diaz, 2019) en Gachetá, el modelo para El Tintal debe enfrentar la rigidez de la Ley 675 de 2001 sobre propiedad horizontal. La matriz de riesgos analizada revela que la resistencia comunitaria a la complejidad de la gobernanza interna son barreras tan críticas como la inversión inicial. Aunque el plan de ordenamiento territorial (POT) "Bogotá Reverdece" actúa como un motor normativo fuerte al clasificar la agricultura urbana como un uso deseable del suelo, persiste un legal en cuanto a la comercialización de excedentes en conjuntos residenciales, lo que limita la transición e proyectos de autoconsumo hacia microempresas sostenibles.

Desde la perspectiva de gerencia de proyectos, el uso de la Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT) y el análisis de stakeholders permite concluir que la viabilidad de proyecto no es absoluta,más bien, es un proceso condicionado. La viabilidad técnica y ambiental es alta gracias a la implementación de sistemas hidropónicos y tecnología IoT. En cambio, la viabilidad socioeconómica desciende a un nivel medio si no se cuenta con una intervención pública adecuada (como subsidios distritales) y un fortalecimiento de la cultura cooperativa local.

Por último, es importante reconocer las limitaciones metodológicas de este trabajo.

Al ser un estudio de carácter documental, los resultados carecen de una validación en campo que permita observar el comportamiento biótico y social en tiempo real. Este inconveniente restringe la posibilidad de generalizar los hallazgos a otras localidades sin realizar previamente estudios específicos de carga estructural y radiación solar para cada microclima urbano de la ciudad.

Conclusiones

A través del análisis sistémico realizado, se concluye que el objetivo general de evaluar la viabilidad y establecer lineamientos de sostenibilidad para la agricultura vertical en El Tintal se cumplió satisfactoriamente. Los lineamientos estratégicos derivados de esta investigación no solo validan la factibilidad del sistema, también ofrecen una hoja de ruta técnica y administrativa para transformar la densidad urbana de Kennedy en un activo productivo y resiliente. El análisis demostró que la viabilidad técnica y ambiental es superior a los modelos tradicionales de la sabana de Bogotá, logrando una eficiencia hídrica del 95% y una reducción térmica de hasta 10°C en las envolventes arquitectónicas.

Como recomendación práctica para el sector público y las administraciones de propiedad horizontal, se sugiere la creación de planes de participación comunitaria mediante talleres de sensibilización para reducir la resistencia social. Igualmente, se propone que las entidades distritales implementen incentivos tributarios y subsidios que mitiguen el riesgo de la inversión inicial, vinculando estos proyecto a los beneficios ya existente en el impuesto predial por edificaciones sostenibles. Desde la vista de la gerencia de proyectos, se confirma que la aplicación de herramientas profesionales como el (EDT) y la matriz de riesgos, fue el factor determinante para transformar una propuesta conceptual en un plan de ejecución estructurado y viable. Estas herramientas permitieron identificar que el exito operativo del sistema no depende únicamente de la tecnología IoT, también de una gestión de riesgos proactiva frente a la inversión inicial y la gobernanza en propiedad horizontal, consolidando la agricultura vertical como un modelo de

negocio socioeconómico responsable y no solo como una intervención estética.

Para futuras investigaciones en el área de gerencia de proyectos, se propone el diseño y ejecución de un plan piloto en un conjunto residencial de El Tintal, con un área de 100 a 150 metros cuadrados, que permita recolectar datos primarios sobre la producción real y aceptación social.

Para terminar, se recomienda que futuros estudios incluyan un plan de gestión de calidad bajo estándares inofensivos respecto al nivel alimentario, que permita monitorear el impacto de las condiciones atmosféricas locales de Kennedy en la pureza biológica de los productos cultivados en fachadas abiertas.

References

Agronet. (2021). *Por qué la agricultura vertical podría ser la respuesta a nuestros problemas ambientales y alimenticios*. https://agronet.gov.co/. https://agronet.gov.co/noticias/por-que-la-agricultura-vertical-podria-ser-la-respuesta-nuestros-problemas-ambientales-y

Agropinos. (2025). *¿Qué es la agricultura vertical?* Agropinos. https://www.agropinos.com/blog/que-es-la-agricultura-vertical

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2024). *Acuerdo 927 de 2024: Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas "Bogotá Camina Segura" 2024-2027*. https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=156917

Ambientum Portal Ambiental. (2022). *El daño que provocan los fertilizantes químicos a los suelos*. Ambientum. https://www.ambientum.com/ambien

tum/suelo/dano-provocan-los-fertilizantes-quimicos-a-los-suelos.asp

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2025). *Transparencia y Acceso a la Información Pública: Gestión del Recurso Hídrico y Resiliencia*. Transparencia y Acceso a la Información Pública: Gestión del Recurso Hídrico y Resiliencia. https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAAAB/entidad/transparencia/informacion-entidad

González, E. (2022). *¿A qué le llamamos arquitectura urbana y/o diseño urbano?* Esdesignbarcelona. https://www.esdesignbarcelona.com/actualidad/diseno-espacios/que-llamamos-arquitectura-urbana#:~:text=La%20respuesta%20a%20la%20pregunta,como%20de%20las%20grandes%20ciudades

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. (2024). *Informe de Empalme: Ordenador del Gasto - Subdirección Técnica Operativa*. Alcaldía Mayor de Bogotá. https://jbb.gov.co/documentos/secretaria_general/2024/Informe_de_empalme_Ordenador_del_Gasto_MLPR.pdf

Mog Pérez, E. A., & Quimbay Diaz, Y. P. (2019). *LA AGRICULTURA VERTICAL COMO ESTRATEGÍA PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN TÉRMINOS DE ABASTECIMIENTO Y CALIDAD DE PRODUCTOS EN EL MUNICIPIO DE GACHETÁ CUNDINAMARCA.* https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/28457/ypquimbayd.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/28457/ypquimbayd.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Opticlimate Farm. (2024). *¿Dónde se utiliza la agricultura vertical en el mundo?* opticlimatefarm.com. https://www.opticlimatefarm.com/es/a-news-where-is-vertical-farming-used-in-the-world

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *Hacia una Bogotá Región con Seguridad Alimentaria: El rol de los circuitos cortos de comercialización*. https://www.fao.org/colombia/noticias/detail-events/es/c/1638531/

Rivera Guerrero, C. A., & Cortés Arévalo, V. V. (2024). *Inclusión de técnicas de agricultura vertical y de precisión para diversificar la producción de los huertos urbanos del Distrito Capital*. Revista GIPAMA. https://revistas.sena.edu.co/index.php/gipama/article/view/6879

Secretaría Distrital de Ambiente. (2024). *Indicador de Calidad del Aire - Material Particulado (PM 2.5) en la Localidad de Kennedy*. Observatorio Ambiental de Bogotá (OAB). https://oab.ambientebogota.gov.co/indicadores/?id=2342

Secretaría Distrital de Integración Social. (2023). *Diagnóstico Localidad de Kennedy 2023 - Versión Actualizada 2024*. Secretaría Distrital de Integración Social. [https://www.integracionsocial.gov.co/images/_docs/2025/Entidad/localidades/12052025-8-Kennedy-Diagnostico-2024.pdf](https://www.integracionsocial.gov.co/images/_docs/2025/E

ntidad/localidades/12052025-8-Kennedy-Diagnostico-2024.pdf)

Secretaría distrital de planeación. (2020). "*PROCESO DE REVISIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE BOGOTÁ D. C. DOCUMENTO DE DIAGNÓSTICO 2020 TOMO: POBLACIÓN"*. https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/tomo_3._poblacion_pot_2020_version_2.pdf

Secretaría distrital de planeación. (2024). *Ecourbanismo y Construcción Sostenible: Gestión Territorial*. https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/manual_ecourb_const.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética. (2023). *Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2052: Actualización de demanda y eficiencia energética*. Ministerio de Minas y Energía. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN-2022-2052.aspx