



**Algas como una alternativa de árboles para beneficios medioambientales
relacionados con la calidad de aire en sectores urbanos altamente densificados
de Medellín.**

Isabella Gonzalez Restrepo

Monografía presentada para optar por el título de arquitecto.

Luis Felipe Lalinde Castrillón

Manuela Murillo Galvis

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Arquitectura y Diseño

Arquitectura

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	5
Resumen	8
Abstract	9
1. Introducción	10
1 planteamiento del problema	10
2 justificación	10
3 objetivos	10
3.1 Objetivo general.....	10
3.2 Objetivos específicos	10
4 Marco Contextual	11
4.1 Teoría general:.....	11
4.2 Medellín y la densificación urbana:	12
4.3. Consecuencias densificación mal planeada:.....	12
4.4 Calidad de aire de Medellín en años recientes:	13
4.5 Comunas altamente densificadas:	13
5 Marco Teórico	15
5.1 Contexto General:	15
5.2. Países que ya lo han implementado:	15
5.3. condiciones de las microalgas:	18
6 metodología.....	20
6.1. Planeación metodología:	20
6.2. Técnicas para recolección de datos:	24
1. Manzana de intervención: Cl. 69 #32-101 a 32-1	25
2. Manzana de Intervención: Cl. 81 #43a-2 a 43a-60	28

3. Manzana de intervención: Cra. 43b # 85-73	31
6.3. Análisis:.....	37
6.3.1. Análisis Vegetación Tradicional:.....	37
6.3.2. Análisis Tanque de Microalgas:.....	41
6.3.3. Análisis Arboles con Tanques de microalgas (mixto):	49
7 resultados.....	54
8 discusión.....	57
8.1. Simplificación:	57
8.2. Análisis resultados:	57
9 conclusiones	59
Referencias	61

Lista de tablas

Tabla 1- plan semanal	24
Tabla 2- cronograma plan semanal	24
Tabla 3 – Fachadas Manzana 1	26
Tabla 4 – Representación gráfica Fachadas Manzana 1	26
Tabla 5 – Vegetación presente en Manzana 1	27
Tabla 6 – Fachadas Manzana 2	28
Tabla 7 – representación gráfica Fachadas Manzana 2	29
Tabla 8 – Vegetación Manzana 2	30
Tabla 9 – Fachadas Manzana 3	31
Tabla 10 – representación gráfica Fachadas Manzana 3	32
Tabla 11 – Vegetación Manzana 3	32
Tabla 12 – Comparación resultados de limpieza de CO2	54
Tabla 13 – Comparación resultados CO2 evitados	54
Tabla 14 – Comparación gastos energéticos ahorrados	55
Tabla 15 – Comparación gastos térmicos ahorrados	55

Tabla de Figuras

Figura 1 – Mapa conceptual	14
Figura 2 – Funciones Tanque Liquid 3	16
Figura 3 – Funciones BioUrban 1.0 & 2.0	17
Figura 4 – Imagen referente de Y-ALGAE	18
Figura 5 - Mapa Comuna 3 Barrio Manrique Oriental Espacios Públicos.....	21
Figura 6 - Mapa Comuna 4 Barrio Aranjuez Espacios Públicos (como comparación)	22
Figura 7 - <i>Ejemplos de cálculos realizados por i-Tree.</i>	24
Figura 8 – Manzana 1	25
Figura 9 – Manzana 2	28
Figura 10 – Manzana 3	31
Figura 11 - Cantidad de cada Planta entre las 3 manzanas.	33
Figura 12 – <i>Ubicación Vegetación en manzana 1</i>	33
Figura 13 – Resultados recolección de CO2 Manzana 1.	34
Figura 14 - <i>Ubicación Vegetación en manzana 2.</i>	34
Figura 15 – <i>Resultados recolección de CO2 Manzana 2.</i>	35
Figura 16 - Ubicación Vegetación en manzana 3.	35
Figura 17 - Resultados recolección de CO2 Manzana 3.	36
Figura 18 - <i>Ubicación Nueva Vegetación Manzana 1.</i>	37
Figura 19 - <i>Resultados recolección Vegetación nueva Manzana 1.</i>	38
Ilustración 20 – <i>Comparación resultados entre vegetación preexistente y nueva, Manzana 1.</i>	38
Figura 21- Ubicación Nueva Vegetación Manzana 2.	39
Figura 22– <i>Resultados recolección Vegetación nueva Manzana 2.</i>	39
Figura 23- Comparación resultados entre vegetación preexistente y nueva, Manzana 2.	39
Figura 24 - <i>Ubicación Nueva Vegetación Manzana 3.</i>	40

Figura 25 – <i>Resultados recolección Vegetación nueva Manzana 3.</i>	40
Figura 26 - <i>Comparación resultados entre vegetación preexistente y nueva, Manzana 3.</i>	41
Figura 27- <i>Ubicación Tanques de microalgas Manzana 1.</i>	43
Figura 28 – <i>Resultados recolección de CO2 Manzana 1.</i>	43
Figura 29 - <i>Comparación resultados entre vegetación preexistente y Tanques de microalgas Manzana 1.</i>	44
Figura 30 - <i>Ubicación Tanques de microalgas Manzana 2.</i>	45
Figura 31 – <i>Resultados recolección de CO2 Manzana 2.</i>	45
Figura 32– <i>Comparación resultados entre vegetación preexistente y Tanques de microalgas</i>	46
Figura 33– <i>Ubicación Tanques de microalgas Manzana 3.</i>	47
Figura 34– <i>Resultados recolección de CO2 Manzana 3.</i>	47
Figura 35– <i>Comparación resultados entre vegetación preexistente y Tanques de microalgas Manzana 3.</i>	48
Figura 36 – <i>Ubicación vegetación y tanques de microalgas en Manzana 1.</i>	49
Figura 37– <i>Resultados recolección de CO2 Manzana 1.</i>	50
Figura 38– <i>Comparación resultados entre vegetación preexistente y mixto Manzana 1.</i>	50
Figura 39- <i>Ubicación vegetación y tanques de microalgas en Manzana 2.</i>	51
Figura 40– <i>Resultados recolección de CO2 Manzana 2</i>	51
Ilustración 41– <i>Comparación resultados entre vegetación preexistente y mixto Manzana 2.</i>	52
Figura 42– <i>Comparación totales de CO2 con gastos eléctricos.</i>	58
Figura 43– <i>Comparación totales de CO2 con gastos térmicos.</i>	58

Siglas, acrónimos y abreviaturas

UPB	Universidad Pontificia Bolivariana
PM	Partículas por millón
kWh	Kilowatts
CO₂	Dióxido de Carbono
Kg	Kilogramos
I-Tree	conjunto de herramientas informáticas desarrolladas mediante una colaboración público-privada
µg/m³	Microgramos por metro cubico
SIATA	Sistema de Alerta Temprana del valle de Aburrá

Resumen

El crecimiento desorganizado en Medellín en las últimas décadas ha generado problemas de densificación excesiva, la reducción de zonas verdes y un aumento de contaminación atmosférica, afectando la salud pública. Entre marzo y octubre estos últimos años, se ha visto un patrón de PM2.5 y PM10 alcanzando niveles críticos de calidad aérea. Esto evidencia la necesidad de realizar intervenciones innovadoras para mejorar la calidad de aire.

Esta investigación busca analizar la viabilidad del uso de microalgas como alternativa a las zonas verdes en zonas densamente urbanizadas. Se estudian sus beneficios, comparándolos con las practicas verdes tradicionales y se comparten los casos exitosos de otros países que ya han implementado este método ambiental, con el fin de presentar las microalgas como una estrategia efectiva en la mitigación de contaminación ambiental en Medellín.

Abstract

The unplanned growth in Medellin throughout the decades has led to excessive densification, a reduction of green spaces and an increase in air pollution, affecting public health. Between march and October during the latest years, the PM2.5 and PM10 have reached critical levels of contamination.

The following research analyzes the feasibility of using microalgae as an alternative to green areas in high density urban areas. Their environmental benefits are studied and compared to the traditional practices, alongside successful case studies from other countries. Microalgae systems could represent an effective strategy to mitigate pollution and enhance environmental quality in Medellin.

1. Introducción

1 planteamiento del problema

A lo largo de la historia de Medellín, se ha identificado un patrón de crecimiento urbano sin una planificación adecuada, lo cual ha llevado a la consecuencia de densificación descontrolada, la reducción de zonas verdes, el aumento de isla de calor y una disminución en la calidad de aire (SIATA, 2025)

Estudios sobre la calidad atmosférica han encontrado que la contaminación aérea, causada principalmente por material particulado (PM 2.5 – PM 10) llega a alcanzar preocupantes niveles entre los meses de marzo y octubre, afectando la salud pública y calidad de vida de los ciudadanos.

2 justificación

En los últimos años, se ha implementado en Medellín diversas estrategias para mejorar estas situaciones, incluyendo planes urbanos e intervenciones orientadas en la optimización de calidad de vida de sus habitantes. Para zonas altamente densificadas, donde las intervenciones ideales no son posibles, es necesario explorar alternativas.

3 objetivos

3.1 Objetivo general

Comparar la alternativa de algas para beneficios medioambientales en relación de la calidad de aire en sectores urbanos altamente densificados en Medellín.

3.2 Objetivos específicos

Identificar las condiciones actuales de la calidad de aire en sectores altamente urbanizados en Medellín.

Analizar las condiciones necesarias para la implementación de la estrategia de microalgas.

Evaluar los beneficios de las microalgas en las comunas más densificadas de Medellín, comparándolos con los aportes de espacios verdes tradicionales.

4 Marco Contextual

4.1 Teoría general:

El crecimiento urbano se refiere al fenómeno de expansión de una población dentro de una ciudad. Ocurre simultáneamente con la recolección de recursos y el mejoramiento de tecnología de dicha población.

Este fenómeno ha evolucionado junto con la humanidad a lo largo de la historia, comenzando con los primeros asentamientos que se convertirían mas tarde en megaciudades, como Mesopotamia, Egipto, el valle de Indo y China, alrededor del año 500 d.C. Sin embargo, sus limitaciones comenzaron a desaparecer en el S.XVIII con la revolución industrial, cuando recursos y oportunidades se volvieron mas accesibles en las ciudades (Hall, 1998). Fue en esta época cuando comienza el fenómeno de densificación, impulsado por la migración masiva de las zonas rurales a los centros urbanos.

La diferencia principal entre el crecimiento urbano y el crecimiento urbano densificado radica en la planificación. Mientras que el primer escenario puede ocurrir de manera estructurada, la densificación urbana suele ocurrir sin un plan adecuado, gracias a la migración avanzado más rápido que la capacidad de las ciudades para preparar sus asentamientos. Estos generan la proliferación de asentamientos precarios o informales. Como resultado, las ciudades se congestionan, destinando el espacio para edificaciones y actividades económicas en lugar de áreas publicas y elementos naturales, los cuales son esenciales para el mantenimiento de calidad de vida adecuada.

“El siglo actual se ha caracterizado por un acelerado proceso de urbanización, con más de la mitad de la población mundial viviendo actualmente en ciudades urbanas. Para 2050 se espera que la cifra aumente a un 70%, según los datos de las naciones unidas (2018)” (Venuti, E. 2025). Para que este crecimiento se mantenga bajo control y de manera sostenible, es fundamental contar con un plan de ordenamiento territorial, un proceso el cual Colombia tomo tiempo en consolidarse.

4.2 Medellín y la densificación urbana:

Medellín, fundada en el siglo XVII, se consolidó como centro urbano de Antioquia. Aunque su desarrollo fue más tardío en comparación con otras ciudades colombianas, rápidamente se convirtió en la segunda ciudad más importante económica y políticamente del país.

El primer plano de ordenamiento de la ciudad fue realizado en 1790 y contaba con una estructura clara: “ocho cuadras de marco urbano con casas de vivienda, y cuatro iglesias situadas al sur de la quebrada de Ana o de Santa Helena y adecuadamente distanciadas al oriente del río de Aburrá; al norte pocas casas dispersas y al sur el camino que comunica con los poblados de Envigado e Itagüí, con algunas casas” (Universidad de Antioquia, s.f., p. 3).

A través del siglo XX, Medellín experimentó un rápido crecimiento urbano, enfocándose en la industrialización y en la migración de zonas rurales, sin embargo, la ciudad no logró mantenerse a la par con este crecimiento, lo cual resultó en una urbanización desbordada y la proliferación de asentamientos informales. A pesar de varios intentos de planificación, en 1990 se implementaron nuevas legislaciones a nivel nacional, lo que obligó a Medellín a diseñar un nuevo plan urbano. En este proceso se incluyó “la adecuación de la ciudad a los nuevos parámetros que fijó el metro elevado, pues este proyecto no quiso tener en cuenta la trascendencia de la forma adquirida por la ciudad a través de los siglos” (Universidad de Antioquia, s.f., p. 7).

En 2014, Medellín adoptó un nuevo plan de ordenamiento territorial, ajustándose a las normativas y necesidades que la población requería en la actualidad. Además de enfocarse en la modernización de la red vial y descentralización de los sectores industriales, financieros, políticos y educativos, también se enfocaron en la realización de proyectos sostenibles los cuales se conecten todos hacia el centro.

4.3. Consecuencias densificación mal planeada:

La densificación urbana no planificada trae consigo diversas consecuencias negativas hacia la ciudad y sus habitantes:

Deterioro de Salud: La contaminación del aire causada por la actividad humana contribuye al incremento de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y neurológicas. Sin los espacios apropiados para actividades recreativas, la salud mental de los habitantes de Medellín también se encuentra afectada, aumentando los casos de estrés, ansiedad y depresión. Juntas estas condiciones pueden reducir la esperanza de vida y sobrecargar los sistemas de salud pública.

Deterioro calidad de vida: Sin la planificación e infraestructura adecuada, la productividad laboral y académica disminuirá en calidad. También causa una pérdida económica de mayor proporción. Para los habitantes se presenta una pérdida de recursos en tener que atender visitas médicas más seguidos y para la ciudad, gracias al desorden infraestructural, se pierde ganancias por el turismo.

Daño ambiental y urbano: La expansión descontrolada suele causar la reducción de espacios verdes, las cuales son responsables de mejorar la calidad de aire. Además de esto la contaminación causada por humanos puede llegar a infectar otros elementos naturales como la lluvia acida, aumento de temperatura y descontrol de otros eventos climáticos, todos estos causando la corrosión de edificaciones y daño de cultivos y biodiversidad.

4.4 Calidad de aire de Medellín en años recientes:

A partir de los estudios realizados por la SIATA hasta ahora febrero 2025, se ha presentado una mejora de calidad de aire en zonas densificadas en Medellín a comparación de 2024, el cual presento variaciones en los niveles del PM2.5, llegando a un máximo de nivel verdoso en sus peores momentos (15.0 y 25.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Los meses entre marzo y octubre son cuando estos niveles altos ocurren, gracias a las condiciones topográficas y climáticas aumentando la cantidad de partículas materiales. El año 2024 reporto como las medidas llegaron a estar entre 38 y 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Sobrepasándose al acuerdo realizado en la resolución 2254 del 2017 de un máximo de 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.5 Comunas altamente densificadas:

Las comunas más afectadas por la densificación urbana y sus consecuencias son:

Manrique: Con 607.975 habitantes por hectárea, este es una de las comunas más densificadas de Medellín y la más contaminante a nivel vehicular y doméstica. Sin una cantidad adecuada tampoco de espacios verdes, los niveles de PM2.5 de marzo y octubre logran llegar a niveles dañinos para la población presente.

Santa cruz: Con 502 habitantes por hectárea, esta comuna también presenta un déficit de espacios públicos y verdes, aumentando los niveles contaminantes para la población presente. Su actividad vehicular y comercial son las causas de los niveles moderados a altos de PM2.5.

Belén: Con 245,53 habitantes por hectárea, aunque no sea densificado a la misma capacidad de las demás comunas, si sufre las mismas consecuencias por su ubicación cercana a la Avenida 80. Su calidad de aire suele variar según el tráfico cercano, pero si suelen tener un PM 2.5 alto.

El Poblado: Con 77,15 habitantes por hectárea, este es el menos densificado de todos, pero como Belén también sufre las consecuencias de la densificación urbana en sus vías vehiculares. Sus niveles moderados permanecen moderados gracias a los amplios espacios verdes disponibles en el área.

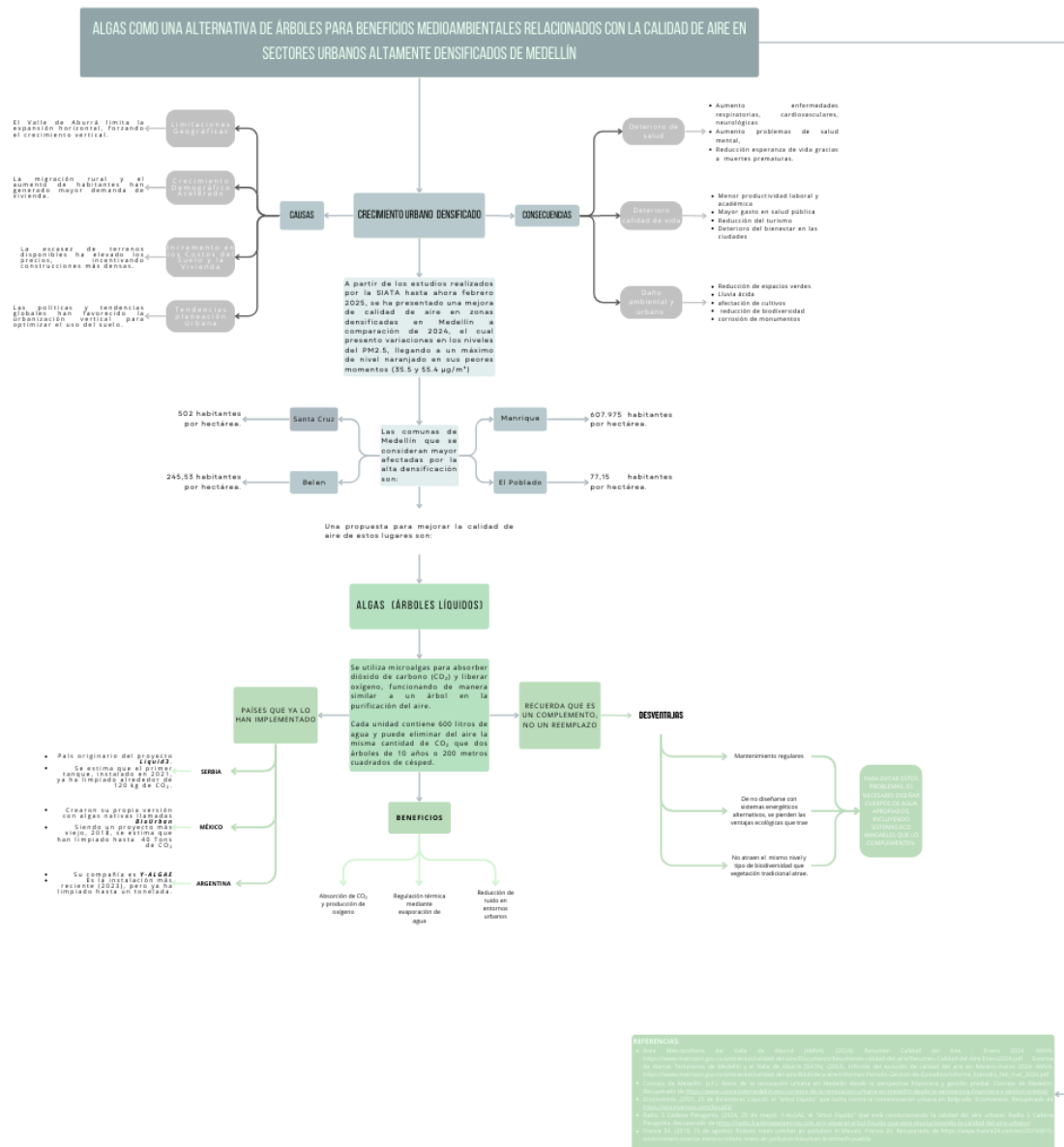


Figura 1 – Mapa conceptual

5 Marco Teórico

5.1 Contexto General:

El crecimiento urbano y su densificación descontrolada han resultado en varias consecuencias negativas, enfocándonos en la calidad del aire, no solo se producen más elementos contaminantes que limpios al día, pero no hay espacios verdes suficientes en comunas como Manrique y Santa cruz para ayudar. Como resultado es necesario implementar alternativas sostenibles donde un árbol tradicional no pueda entrar.

Las microalgas surgieron como una estrategia complementaria para mitigar los efectos contaminantes en zonas densamente pobladas. Como un árbol, estas pueden absorber el CO₂ y liberar oxígeno mediante la fotosíntesis.

Cada unidad de microalgas puede contener hasta 600 litros de agua y son capaces de eliminar la cantidad de CO₂ que dos árboles o 200 m² de césped podrían en el mismo tiempo. Además de la habilidad de eliminar esta clase de partículas, estos sistemas se pueden ajustar al gusto del arquitecto y los ciudadanos, ocupando espacios limitados para vegetación tradicional o instalándose junto con fachadas, techos y otros mobiliarios urbanos.

5.2. Países que ya lo han implementado:

Es importante destacar que este método para combatir la contaminación aérea solo comenzó tan solo en la última década, pero ya hay varios países quienes lo han implementado con resultados positivos.

Serbia: Su compañía Liquid3, desarrollado por el instituto para el desarrollo sostenible, suele ser acreditada con ser la que popularizó la idea de utilizar algas como una alternativa a árboles en espacios urbanos. Su primer tanque fue instalado en 2021 dentro de Belgrado y hasta la fecha ha logrado limpiar alrededor de 120kg de CO₂. (Institute for Sustainable Development, 2021)

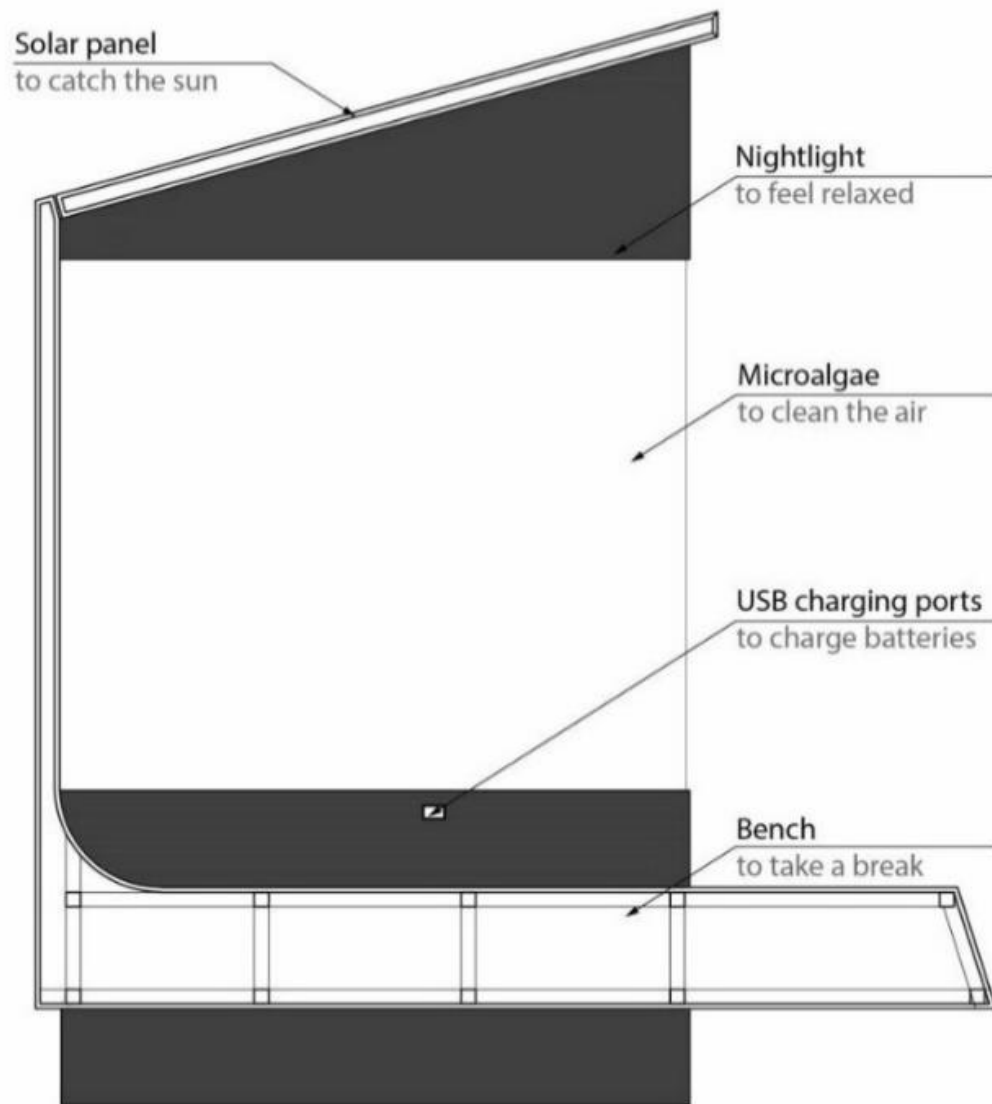


Figura 2 – Funciones Tanque Liquid 3

México: Son los que primero consideraron estudiar e implementar este sistema en realidad. Con BioUrban, han instalado hoy en día dos tanques de mayor tamaño en Puebla y Ciudad de México en 2018, juntos recolectando una cantidad de 40 toneladas de CO₂ (BiomiTech, 2022)



BIOURBAN 2.0

Es una torre con un sistema de purificación de aire de tecnología verde, que transforma compuestos contaminantes como el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y material particulado en oxígeno y biomasa a través de la fotosíntesis.



Figura 3 – Funciones BioUrban 1.0 & 2.0

Argentina: Son los más recientes en la práctica, pero también han presentado gran progreso. Y-ALGAE instaló su primer tanque en Buenos Aires en 2023 y hoy en 2025 ya han podido limpiar una tonelada de CO₂. (Y-ALGAE, 2023)



Figura 4 – Imagen referente de Y-ALGAE

5.3. condiciones de las microalgas:

Aunque la implementación de Microalgas para la purificación del aire ha resultado ser una estrategia viable es importante entender que este método no es un reemplazo de los paisajes verdes tradicionales, sino que es un complemento. Siendo también una metodología nueva, también significa que presenta varias limitaciones, en especial si no se le dedica el mantenimiento y diseño adecuado:

Mantenimiento regular: Los sistemas de microalgas dependen de un mantenimiento constante, no solo en la limpieza de la biomasa, pero también en el control de nutrientes y de los equipos que ayudan a las microalgas en recolectar el CO₂. Lo positivo del proceso de mantenimiento viene de el mismo, dado que la biomasa que se recolecte puede reutilizarse en biocombustibles y/o fertilizantes.

Dependencia eléctrica: Los tanque que sostienen las microalgas dependen de un acceso continuo de energía para poder realizar su trabajo. Compañías como Liquid3 sin embargo han combinado los equipos de las microalgas con tecnología dependiente de energía sostenible, como los paneles solares, no solo solucionando el problema de los gastos eléctricos, pero también incluyendo acceso para los habitantes con conectores para USBs y cargadores para trabajar.

Pérdida de biodiversidad: Siendo vegetación líquida y no la tradicional y siendo destinaria para espacios donde los espacios verdes amplios no logran entrar, no se consigue hábitats para insectos, aves y otros organismos dependientes de árboles, arbustos, flores, etc. Como con la dependencia eléctrica, sin embargo, y la flexibilidad de diseño que tienen las microalgas, se pueden diseñar sus tanques de manera que incluyan vegetación de poco espacio para ayudar a estos animales o se podría diseñar abiertamente para el acceso de otros animales quienes benefician de algas y su biomasa, como peces y otra vida marina. Este último es una práctica común en espacios agropecuarios y para dueños de mascotas marinas.

6 metodología

6.1. Planeación metodología:

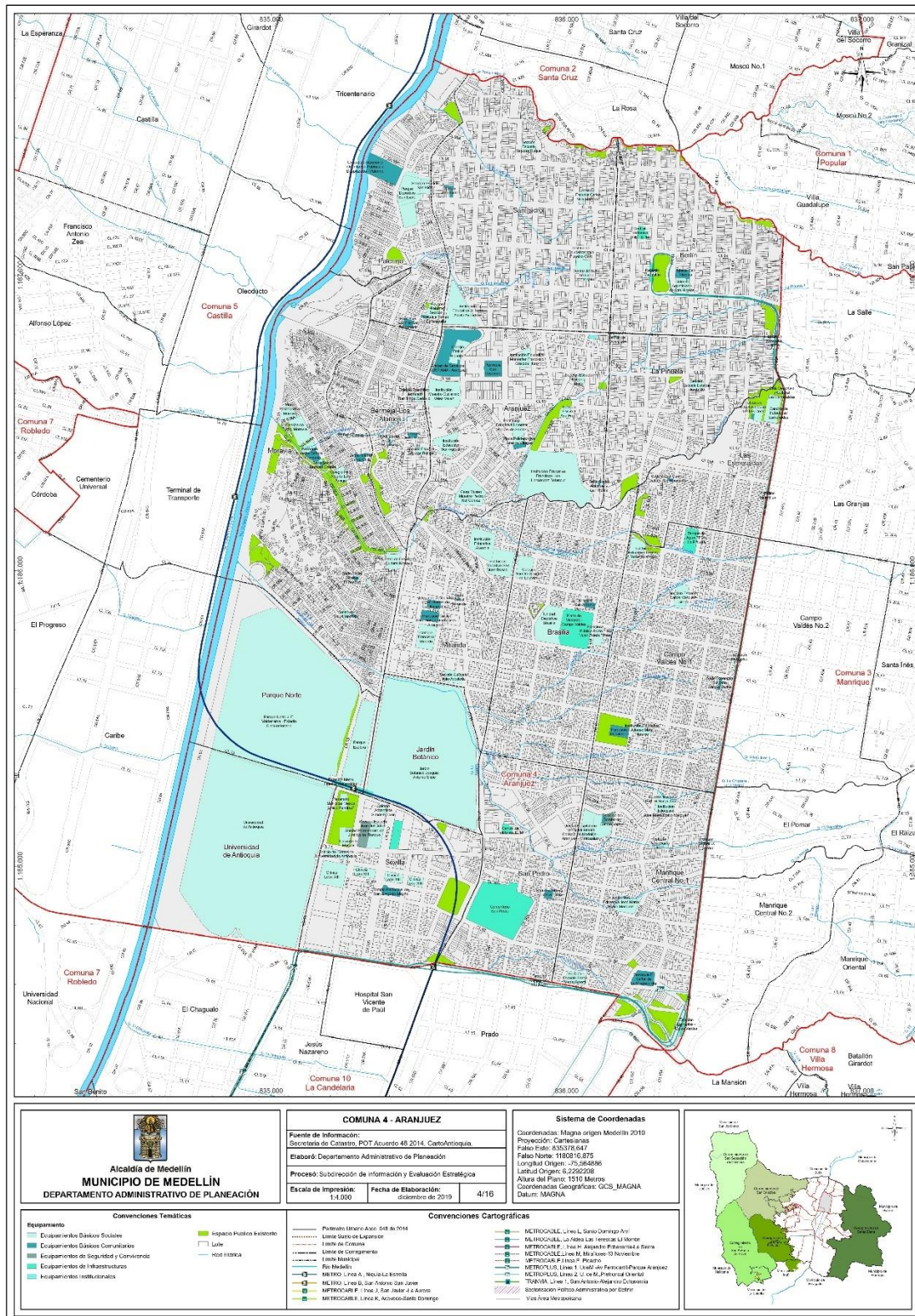
A partir del contexto anterior, se propone realizar comparaciones sobre una de las comunas altamente densificadas de Medellín y ver como afectaría un tanque de microalgas en lugar de vegetación tradicional.

La Comuna 3, Manrique se seleccionó como estudio de caso para explorar la alternativa de emplear microalgas en la descontaminación ambiental de la región por diversos aspectos que tienen que ver con la realidad urbana y ambiental de Medellín. Manrique constituye una de las comunas más densamente pobladas de la ciudad.

También, expone una condición urbana consolidada, de edificaciones bajas y medias alturas, y una gran irregularidad en la disposición de espacios públicos⁰. En este sentido, dicha unidad de planificación urbana muestra una deficiencia en la regularización en la provisión de parques y en zonas potencias para la construcción de soluciones ecológicas, como ecoparques ecológicos y corredores biológicos.

De igual manera, información de SIATA demuestra que esta comuna tiene un problema importante de contaminación del aire, en particular en lo relacionado a material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀). Estas circunstancias hacen de Manrique un lugar estratégico para intentar nuevos sistemas de despolución del aire, tales como los tanques de microalgas tipo Liquid3, con instalación de CO₂ en áreas confinadas y con mayor eficiencia por metro cuadrado en comparación a plantas infestadas al ser provista líquida.





Semana	Fase	Descripción fase	Herramientas para utilizar	Expectativas
1	Revisión Teórica	Repaso consulta teórica sobre los microalgas, parques urbanos y calidad aérea de Medellín.	SIATA, artículos académicos, base de datos en línea.	Base sólida de información relacionada con alternativas vegetales con la captura de CO2.
2	Diagnóstico inicial	Selección de comunas densificadas y su análisis urbano y ambiental.	DANE, mapas usos de suelo, datos de planeación.	Comunas definidas con justificaciones demográficas y urbanas.
3	Diagnostico ambiental	Análisis calidad de aire en comunas seleccionadas.	SIATA, IDEAM, gráficos comparativos.	Identificación zonas de mayor contaminación aérea.
4	Identificación normativa	Análisis normas urbanas y ambientales para la instalación de Tanques o parques.	POT Medellín, normativas ambientales, manuales técnicos locales.	Reconocimiento de requisitos técnicos y legales.
5	Búsqueda herramientas de simulación.	Modelado manzana por intervenir dentro de una comuna seleccionada.	Datos en línea, consulta de tutores.	Espacios seleccionados definidos para implementación
6	Modelaciones	Modelado manzana por intervenir dentro de una comuna seleccionada.	(estará pendiente las herramientas de la simulación)	Espacios seleccionados definidos para implementación
7	Simulaciones/calculaciones	Simulación/cálculo de CO2 reducido en un año con Vegetación vs microalgas.	(estará pendiente las herramientas de la simulación)	Resultados comparativos entre vegetación y microalgas.
8	análisis vegetación & microalgas	Análisis captación de CO2 con parques tradicionales en comparación con tanques de algas.	Resultados simulaciones y cálculos.	Datos relacionados a la cantidad de captura de CO2 en un periodo estimado según la simulación.
9	comparación análisis	Comparar las calculaciones recolectadas	Matriz comparativa, Excel.	Reconocimiento de ventajas y desventajas por cada estrategia.
10	validación de resultados	Revisión crítica de datos	Revisión cruzada, consulta con tutores.	Aprobación académica sobre resultados.

11-12	Conclusiones/propuestas	Desarrollo de conclusiones y recomendaciones urbanas.	Datos previos, Word.	Conclusiones claras sobre cual estrategia funciona mejor.
13-14	Presentación final.	preparación proyecto final.	Word, Canva, guía de defensa.	Presentación coherente.

Tabla 1- plan semanal

Objetivo		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
IDENTIFICAR	1														
	2														
	3														
	4														
ANALIZAR	5														
	6														
	7														
	8														
EVALUAR	9														
	10														
	11														
	12														
	13														
	14														

Tabla 2- cronograma plan semanal

6.2. Técnicas para recolección de datos:

Se realizará una simulación con la aplicación I- Tree, una aplicación tanto descargable como en línea en el que se puede calcular la cantidad de CO2 que produce distintos tipos de vegetación.

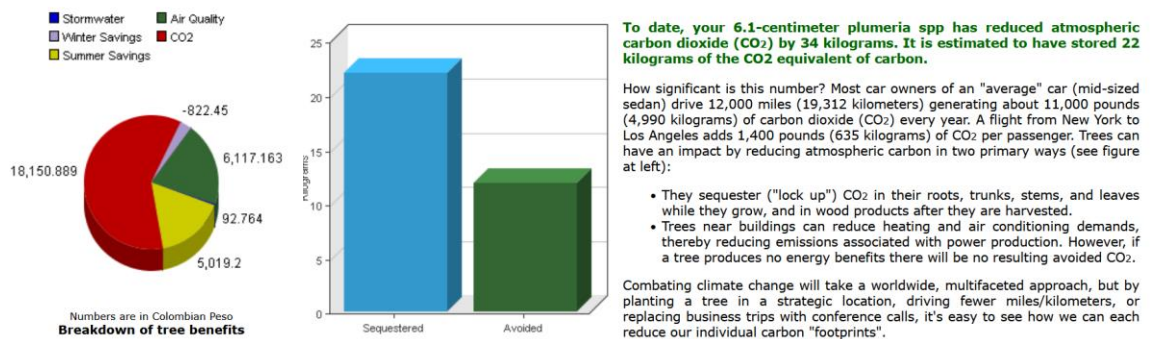


Figura 7 - Ejemplos de cálculos realizados por i-Tree.

Se tienen planeado correr 3 escenarios:

1. Vegetación tradicional
2. Tanque de microalgas
3. Combinación/híbrido.

El escenario en el que se localizara la simulación se diseñara a partir de la tipología de fachadas que se pueden encontrar en Manrique, Medellín; con el fin también de analizar las variaciones de resultados que se conseguirían a partir de las limitaciones espaciales de cada fachada. Se escogerán 3 manzanas mínimos que se encuentren más lejos de los parques ya existentes.

1. Manzana de intervención: Cl. 69 #32-101 a 32-1



Figura 8 – Manzana 1

Fachadas									
									
Balcones en cada piso									
Ventanales/ ventanas grandes									
Espacios amplios no utilizados									
zonas verdes									
Patios concreto-utilizados									
Patios concretos no utilizados									
Muro no utilizado									

Tabla 3 – Fachadas Manzana 1

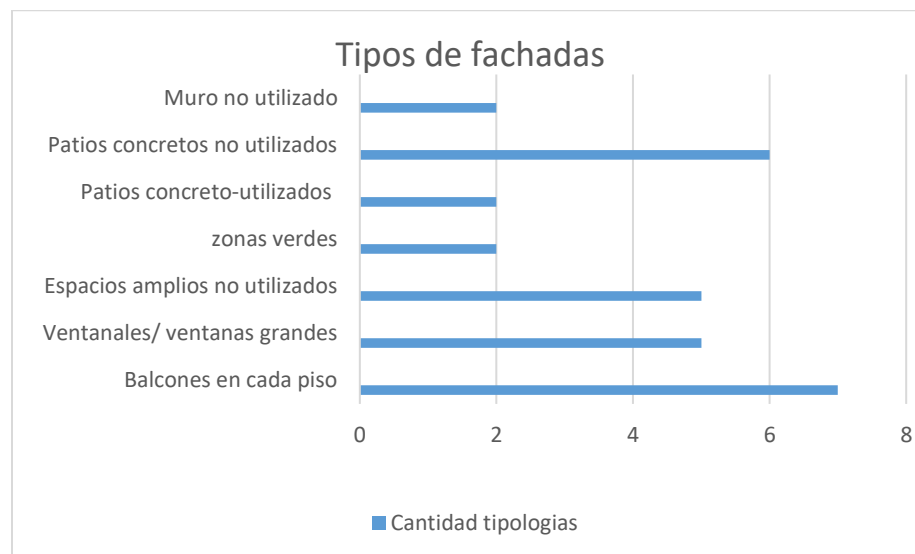


Tabla 4 – Representación gráfica Fachadas Manzana 1

Además de reconocer los tipos de fachadas presentes, se analizarán los tipos de árboles disponibles en las zonas verdes disponibles de Manrique, incluyendo sus diámetros para el escenario de vegetación tradicional. Esto es con el fin de realizar las simulaciones con vegetación local.

Vegetación		
Nombre	Diámetro	Imagen
Plumería	4-7cm	
Araucaria	6-12cm	
Mango	10-20cm	
Cordilina	2-4cm	
Guarumo	8-15cm	
Guayacán	20-40cm	
Laurel	30-60cm	
Tulipán africano	25-45cm	
Palma areca	10-20cm	
Arbustos mixtos	1-2cm	

Tabla 5 – Vegetación presente en Manzana 1

2. Manzana de Intervención: Cl. 81 #43a-2 a 43a-60



Figura 9 – Manzana 2

Fachadas									
									
Balcones en cada piso									
Ventanales/ ventanas grandes									
Espacios amplios no utilizados									
zonas verdes									
Patios concreto-utilizados									
Patios concretos no utilizados									
Muro no utilizado									
Accesos voladizos									

Tabla 6 – Fachadas Manzana 2

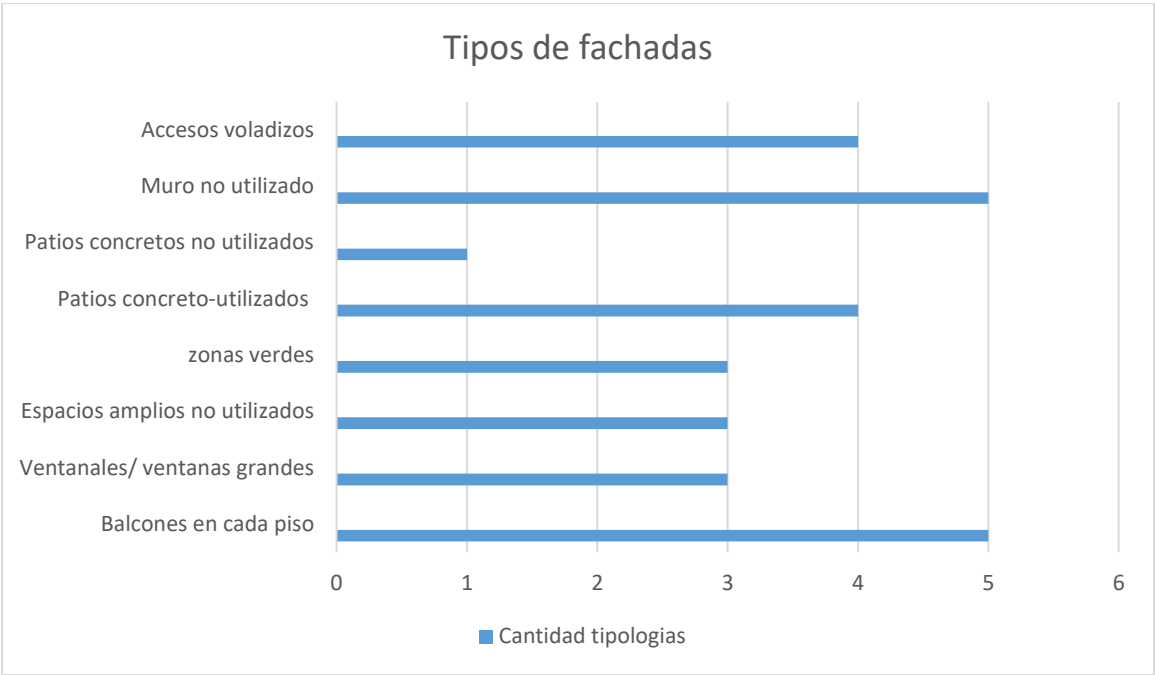


Tabla 7 – representación gráfica Fachadas Manzana 2

Vegetación		
Nombre	Diámetro	Imagen
guayacán	40 – 70cm	
Pachira	15 – 30cm	
Ciprés	15 - 25cm	
Mango	15 – 25cm	
Guayaba	30 – 60cm	
Jengibre rojo ornamental	10cm	
Ficus Benjamina	30 – 50cm	
Urapan	20 – 40cm	
Acacia	25 – 40cm	
Palma	10 – 15cm	

Tabla 8 – Vegetación Manzana 2

3. Manzana de intervención: Cra. 43b # 85-73



Figura 10 – Manzana 3

Fachadas							
							
Balcones en cada piso							
Ventanales/ ventanas grandes							
Espacios amplios no utilizados							
zonas verdes							
Patios concreto-utilizados							
Patios concretos no utilizados							
Muro no utilizado							
Accesos voladizos							

Tabla 9 – Fachadas Manzana 3

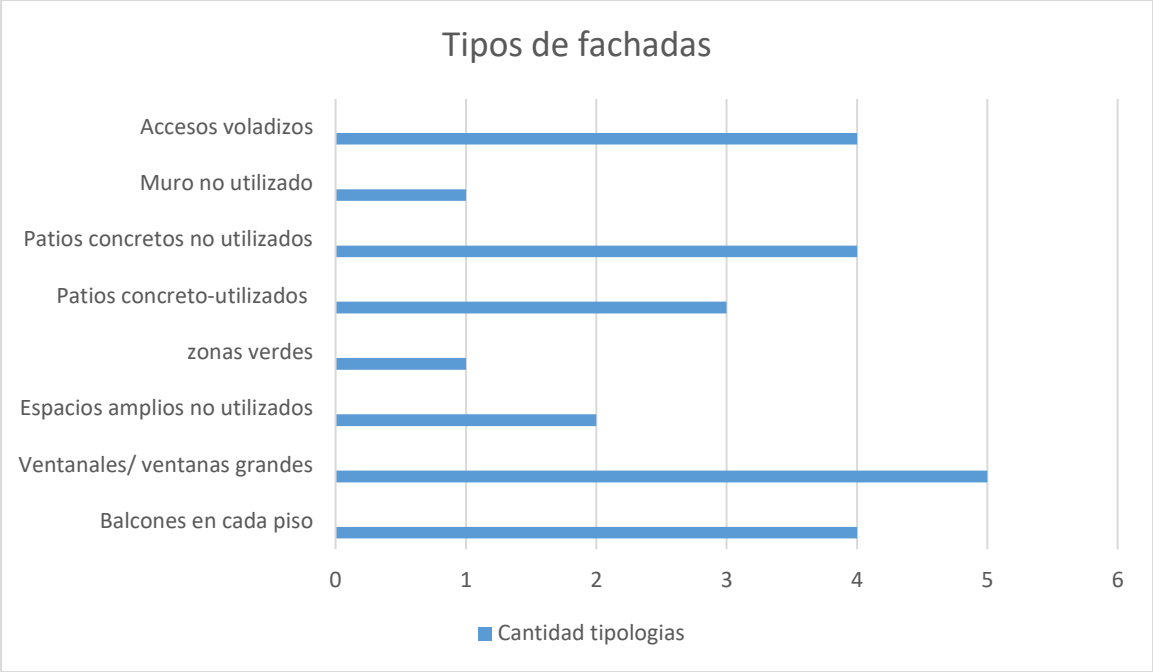


Tabla 10 – representación gráfica Fachadas Manzana 3

Vegetación		
Nombre	Diámetro	Imagen
Pino (decorativo)	30cm	
Palma Yuca	15 – 30cm	

Tabla 11 – Vegetación Manzana 3

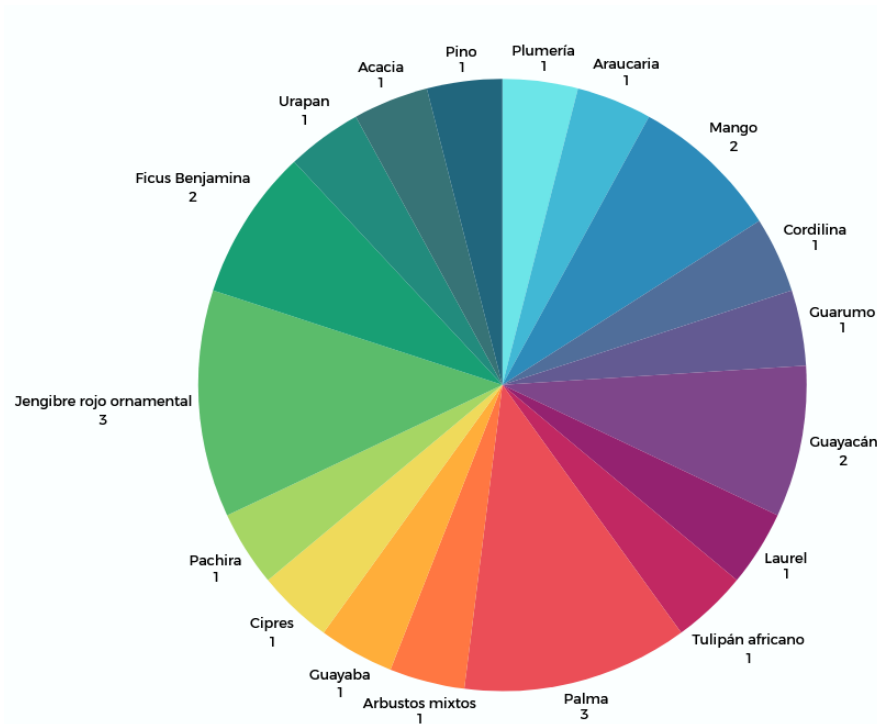


Figura 11 - Cantidad de cada Planta entre las 3 manzanas.

Teniendo en cuenta la información recolectada sobre los sitios de análisis, se realizará una simulación sobre la limpieza de condiciones climáticas sobre cada manzana con su vegetación actual.



Figura 12 – Ubicación Vegetación en manzana 1

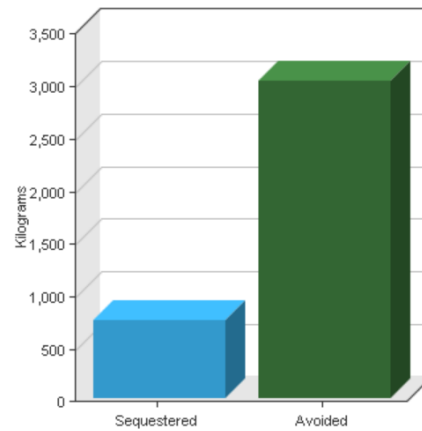


Figura 13 – Resultados recolección de CO2 Manzana 1.

La cantidad de CO2 que ha llegado a limpiar la vegetación existente hasta el momento del año 2025 han llegado alrededor de 1.000 kilogramos, con 3,000 kilogramos siendo evitados gracias a su cercanía a las fachadas, evitando gastos eléctricos de hasta 3,800 Kilowatts, y el gasto térmico a 111 kWh.

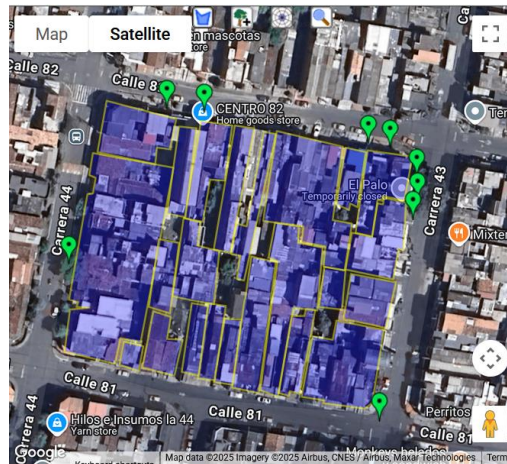


Figura 14 - Ubicación Vegetación en manzana 2.

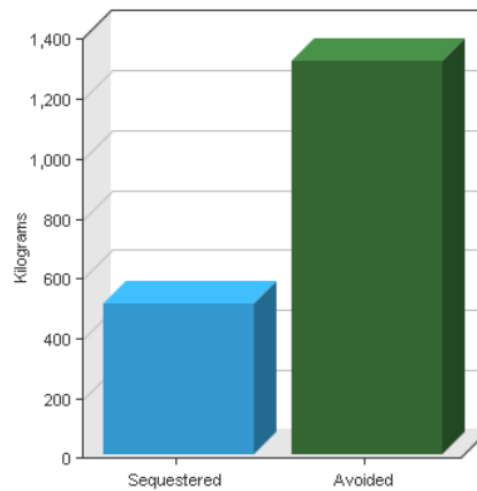


Figura 15 – Resultados recolección de CO2 Manzana 2.

La cantidad de CO2 que ha llegado a limpiar la vegetación existente hasta el momento del año 2025 han llegado alrededor de 500 kilogramos, con 1,300 kilogramos siendo evitados gracias a su cercanía a las fachadas, evitando gastos eléctricos de hasta 1,400 Kilowatts, y el gasto térmico a 65.2 kWh.



Figura 16 - Ubicación Vegetación en manzana 3.

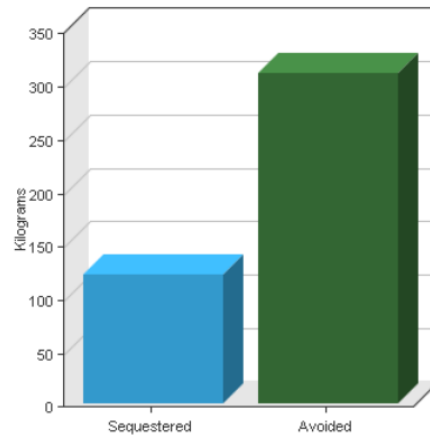


Figura 17 - Resultados recolección de CO2 Manzana 3.

La cantidad de CO2 que ha llegado a limpiar la vegetación existente hasta el momento del año 2025 han llegado alrededor de 130 kilogramos, con 310 kilogramos siendo evitados gracias a su cercanía a las fachadas, evitando gastos eléctricos de hasta 380 Kilowatts, y el gasto térmico siendo hasta 11.9 kWh.

6.3. Análisis:

6.3.1. Análisis Vegetación Tradicional:

El primer escenario, vegetación Tradicional, se desarrollada de manera que cumpla con las siguientes condiciones:

1. Cada árbol debe estar ubicada a un mínimo de 2 metros entre ellos para que cada una pueda crecer sin interrupciones.
2. No Se introducirá especies no locales a la manzana, con el fin de que la biodiversidad existente no se vea afectada por especies posiblemente invasivas.
3. No se eliminará ninguno de los árboles ya existentes.
4. La simulación correrá por 2 años, para mantener el mismo periodo de tiempo que ha tenido la vegetación existente.

1. Manzana:

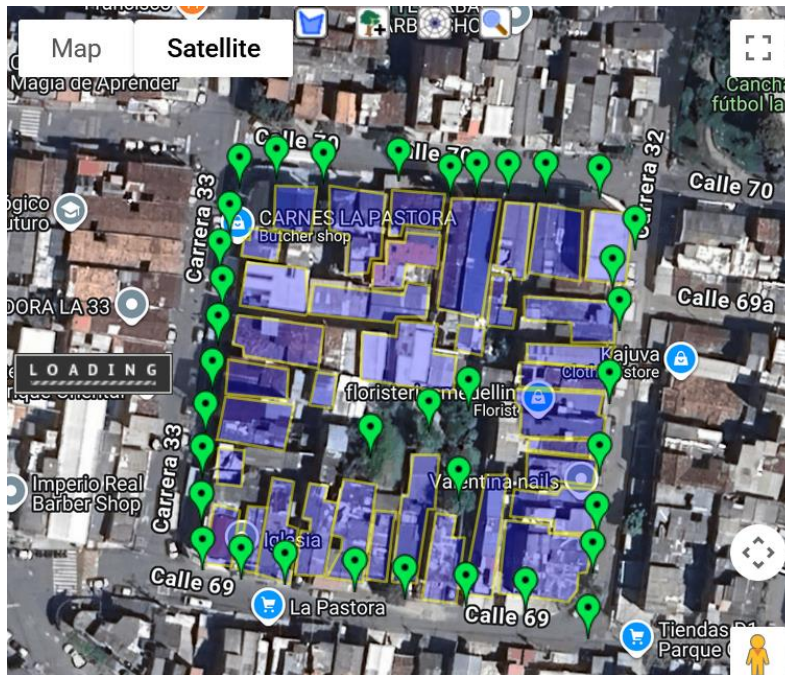


Figura 18 - Ubicación Nueva Vegetación Manzana 1.

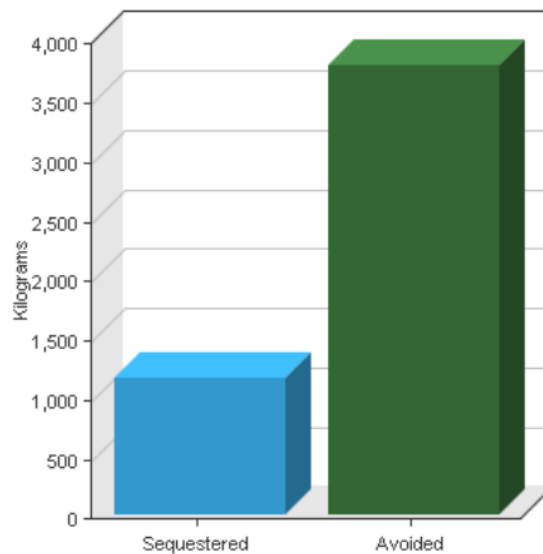


Figura 19 - Resultados recolección Vegetación nueva Manzana 1.

Con la nueva adicción de vegetación alrededor de la manzana, la nueva cantidad de CO₂ recolectada por ellas es de alrededor de 4,946 kilogramos. Mas de 12,000 kilogramos fueron evitados también gracias a los árboles también, creando sombra natural y reduciendo el nivel de temperatura de manera que los gastos energéticos no superan 5,257 kWh y los gastos térmicos no superan 103.7 kWh.

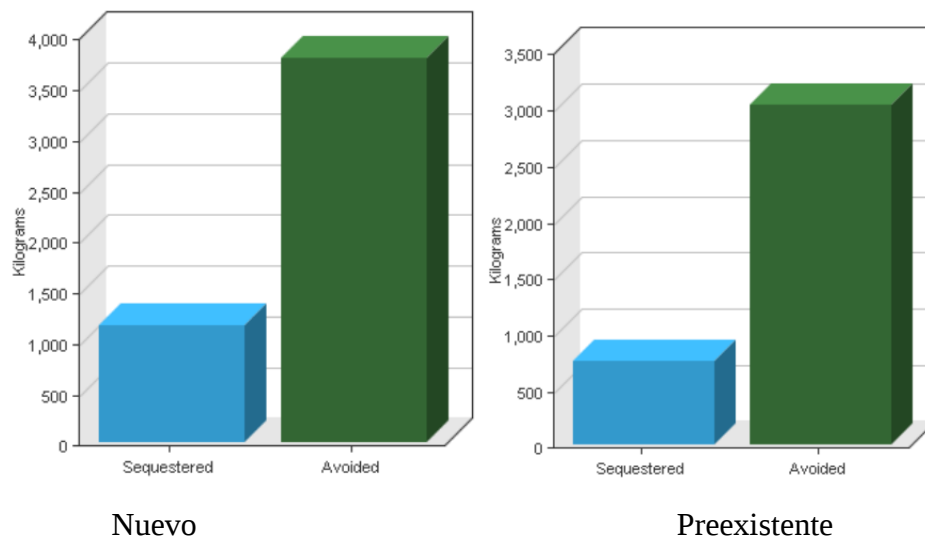


Ilustración 20 – Comparación resultados entre vegetación preexistente y nueva, Manzana 1.

2. Manzana:



Figura 21- Ubicación Nueva Vegetación Manzana 2.

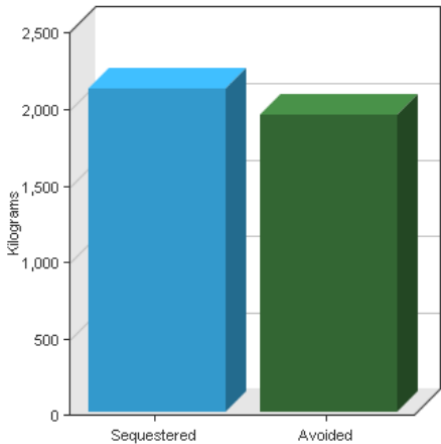


Figura 22– Resultados recolección Vegetación nueva Manzana 2.

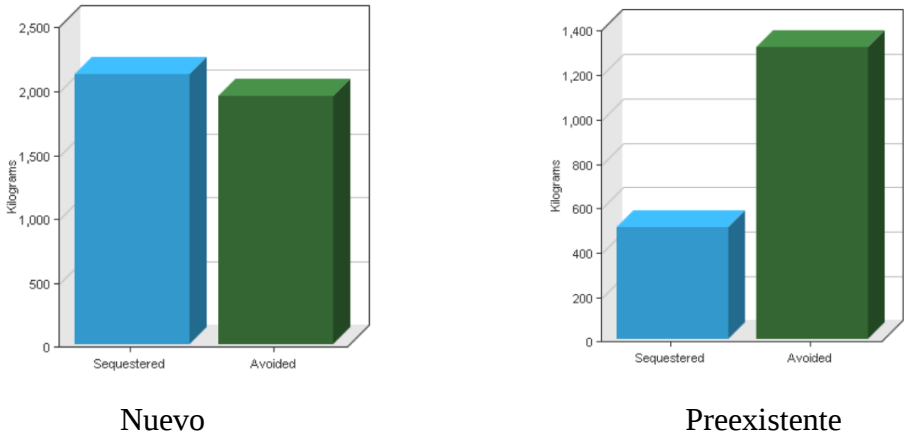


Figura 23- Comparación resultados entre vegetación preexistente y nueva, Manzana 2.

La adición de nueva vegetación por la segunda manzana logra reducir la cantidad de CO₂ hasta 4,070 kilogramos. 37,991 kilogramos se evitan en el mismo periodo de tiempo. Los gastos energéticos evitados han sido de 5.796 kWh, pero los gastos térmicos llegan a un negativo de -159.8 kWh. Esto último significa que la vegetación está causando una falta de iluminación natural, bajando las temperaturas a niveles donde los habitantes tengan que ajustar el frío de manera artificial. Para asegurar un balance térmico en un caso similar a este, sería necesario reducir la cantidad de árboles para permitir el paso de iluminación solar.

3. Manzana:



Figura 24 - Ubicación Nueva Vegetación Manzana 3.

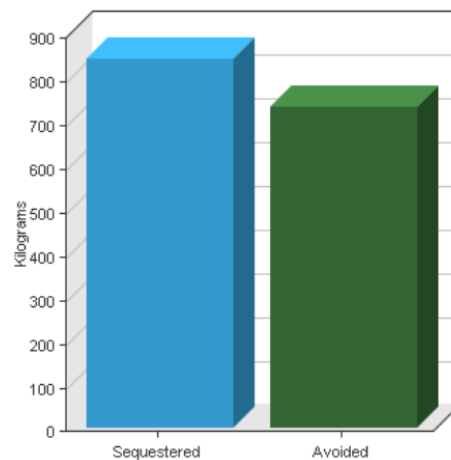


Figura 25 – Resultados recolección Vegetación nueva Manzana 3.

La nueva vegetación agregada para la tercera manzana logra reducir la cantidad de CO₂ hasta 1,582 kilogramos. 10,180 kilogramos se evitan en el mismo periodo de tiempo. Los gastos energéticos evitados han sido de 2,503 kWh, pero los gastos térmicos llegan a un negativo de -82.8 kWh.

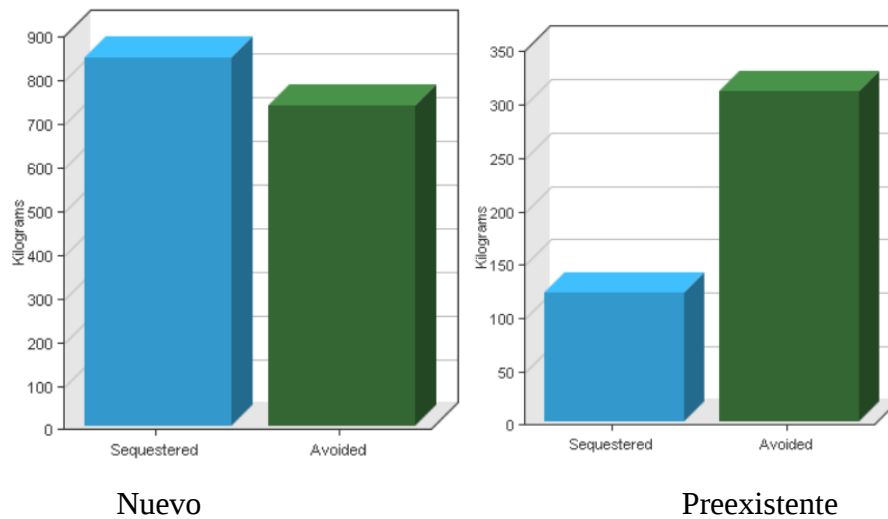


Figura 26 - Comparación resultados entre vegetación preexistente y nueva, Manzana 3.

6.3.2. Análisis Tanque de Microalgas:

Para el segundo escenario, con los tanques de microalgas, se desarrollará de manera que cumpla con las siguientes condiciones:

1. Cada Tanque se instalará en contra de las fachadas vacías y/o amplias las cuales las edificaciones presentes no usan. De no estar disponible algún espacio para su instalación, se ubicará junto con las jardineras.
2. Cada Tanque deberá ser instalado a una distancia mínima de 3 metros de cualquier ventana, puerta y punto de ignición o fuentes de calor (calentadores de agua, estufas, quemadoras, etc.)
3. Se eliminarán los árboles ubicados en las jardineras, este escenario solo se enfocará en la producción de los tanques.

4. A partir de lo estudiado anteriormente se realizará una formula teórica en donde se calcula cuantos tanques serian necesaria más conseguir la misma cantidad de CO2 recolectada. Luego se realizará otra fórmula para saber cuántos m² ocupan los árboles para saber cuántos tanques se necesitarán ubicar para la simulación, con el fin de asegurar que cada escenario cuente con una cantidad equitativa de metros ocupados.

$$1 \text{ tanque de microalgas} = 2 \text{ árboles adultos}$$

1. Manzana:

Numero de árboles (NA) = 36

Emisiones capturadas (EC) = 4,946 kilogramos

Emisiones evitadas (EE) = 12,000 kilogramos

1 tanque (N_T) = 2 Árboles

$$C_p = \frac{EC}{NA}$$

$$\text{Formula General: } N_T = \frac{NA}{2} = \frac{36}{2} = 18 \text{ tanques}$$

$$\text{Formula Según CO2: } N_T = \frac{EC}{C_p} = \frac{EC}{2 \times \frac{EC}{NA}} = \frac{4,946 \text{ kg}}{2 \times (\frac{4,946}{36})} = 18 \text{ tanques}$$

Para que se produzca los mismos resultados que la vegetación, son necesario 18 tanques, los cuales se encontrarían instaladas en fachadas no utilizadas y jardineras. Siguiendo las medidas mínimas de dónde ubicar un tanque, la cantidad y resultados varían de la siguiente manera:



Figura 27- Ubicación Tanques de microalgas Manzana 1.

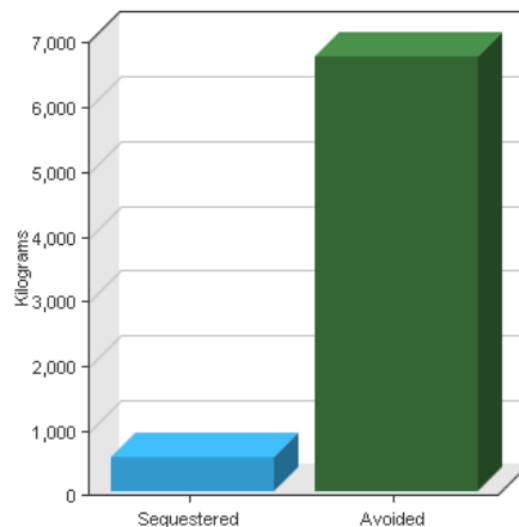


Figura 28 – Resultados recolección de CO2 Manzana 1.

Los tanques de algas logran recolectar según la simulación una cantidad de CO₂ de 7,284 kilogramos, y logra evitar la producción de 287,685 kilogramos. Esto es producido con solo 19 tanques, un numero bastante cercano a las fórmulas teóricas, pero con una recolección de CO₂ casi al doble que con la vegetación tradicional. Dado que los tanques no producen coronas de sombra como los árboles, los gastos energéticos aumentarían a 34.550 kWh y los térmicos hasta 42,500 kWh.

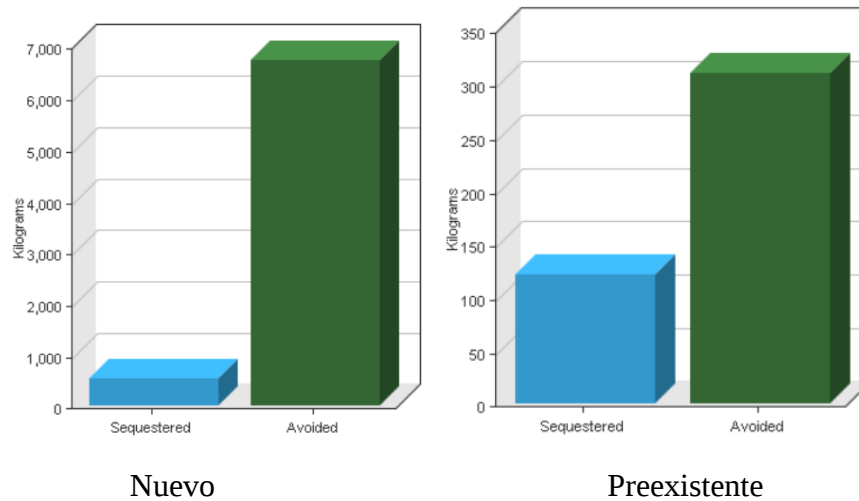


Figura 29 - Comparación resultados entre vegetación preexistente y Tanques de microalgas
Manzana 1.

Numero de árboles (NA) = 30

Emisiones capturadas (EC) = 4,070 kilogramos

Emisiones evitadas (EE) = 37,991kilogramos

1 tanque (N_T) = 2 Arboles

$$C_P = \frac{EC}{NA}$$

$$\text{Formula General: } N_T = \frac{NA}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ tanques}$$

$$\text{Formula Según CO}_2: N_T = \frac{EC}{C_P} = \frac{EC}{2 \times \frac{EC}{NA}} = \frac{4,070 \text{ kg}}{2 \times \left(\frac{4,070}{30}\right)} = 15 \text{ tanques}$$

Para que se produzca los mismos resultados que la vegetación, son necesario 15 tanques, los cuales se encontrarían instaladas en fachadas no utilizadas y jardineras. Siguiendo las medidas mínimas de dónde ubicar un tanque, la cantidad y resultados varían de la siguiente manera



Figura 30 - Ubicación Tanques de microalgas Manzana 2.

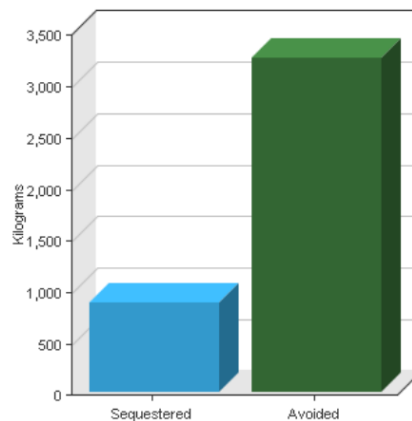


Figura 31 – Resultados recolección de CO₂ Manzana 2.

Los tanques de algas logran recolectar según la simulación una cantidad de CO₂ de 4,139 kilogramos, y logra evitar la producción de 452,836 kilogramos. Esto es producido con solo 16 tanques, un numero bastante cercano a las fórmulas teóricas, pero con una recolección de CO₂ casi al doble que con la vegetación tradicional. Dado que los tanques no producen coronas de sombra como los árboles, los gastos energéticos aumentarían a 14.016 kWh y los térmicos hasta 63,000 kWh.

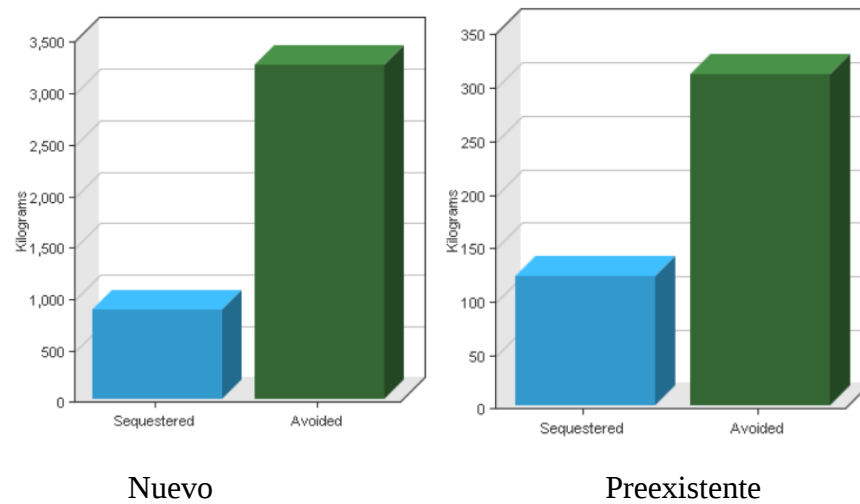


Figura 32– Comparación resultados entre vegetación preexistente y Tanques de microalgas

2. Manzana:

Numero de árboles (NA) = 15

Emisiones capturadas (EC) = 1,582 kilogramos

Emisiones evitadas (EE) = 10,180 kilogramos

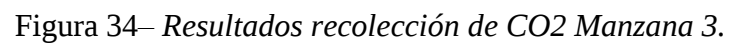
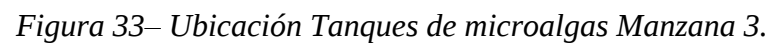
1 tanque (N_T) = 2 Árboles

$$C_p = \frac{EC}{NA}$$

$$\text{Formula General: } N_T = \frac{NA}{2} = \frac{15}{2} = 7.5 = 8 \text{ Tanques.}$$

$$\text{Formula Según CO}_2: N_T = \frac{EC}{C_p} = \frac{EC}{2 \times \frac{EC}{NA}} = \frac{1,582 \text{ kg}}{2 \times \left(\frac{1,582}{15}\right)} = 7.5 = 8 \text{ Tanques.}$$

Para que se produzca los mismos resultados que la vegetación, son necesario 7 a 8 tanques, los cuales se encontrarían instaladas en fachadas no utilizadas y jardineras. Siguiendo las medidas mínimas de dónde ubicar un tanque, la cantidad y resultados varían de la siguiente manera



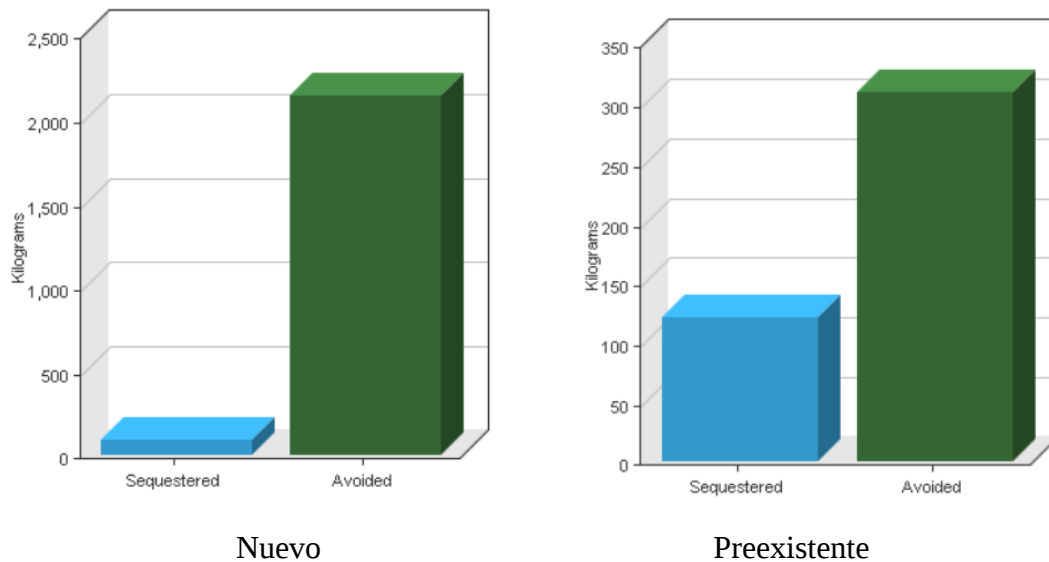


Figura 35– Comparación resultados entre vegetación preexistente y Tanques de microalgas Manzana 3.

Los tanques de algas logran recolectar según la simulación una cantidad de CO₂ de 2,239 kilogramos, y logra evitar la producción de 140,205 kilogramos. Esto es producido con solo 16 tanques, un numero bastante cercano a las fórmulas teóricas, pero con una recolección de CO₂ casi al doble que con la vegetación tradicional. Dado que los tanques no producen coronas de sombra como los árboles, los gastos energéticos aumentarían a 7.884 kWh y los térmicos hasta 3.360 kWh.

El aumento de gastos eléctricos en este escenario puede llegar a ser un problema dado que los recursos para la producción de electricidad llegan a producir hasta más de 25 t CO₂ anualmente. Si se mantienen los gastos energéticos y térmicos a una cantidad tan alta, entonces los tanques y/o arboles quedaran estancadas.

Para este escenario sería necesario diseñar los tanques de manera abierta para que la evaporación del agua ayude durante las olas de calor, o diseñar sombra artificial como pérgolas, sistemas de toldos u otros tipos de cubiertas flotantes. Alternativamente se puede diseñar los tanques para que incluyan los demás sistemas de Liquid3, con los paneles solares u otro tipo de energía renovable, para así llegar a un nivel neta con los gastos eléctricos.

6.3.3. Análisis Árboles con Tanques de microalgas (mixto):

Para el tercer y último escenario, se realizará una simulación con una mezcla de vegetación tradicional con Tanques de microalgas. Esta etapa seguirá las siguientes condiciones:

1. Cada árbol debe estar ubicada a un mínimo de 2 metros entre ellos para que cada una pueda crecer sin interrupciones.
2. No Se introducirá especies no locales a la manzana, con el fin de que la biodiversidad existente no se vea afectada por especies posiblemente invasivas.
3. No se eliminará ninguno de los árboles ya existentes.
4. La simulación correrá por 2 años, para mantener el mismo periodo de tiempo que ha tenido la vegetación existente.
5. Cada Tanque se instalará en contra de las fachadas vacías y/o amplias las cuales las edificaciones presentes no usan. De no estar disponible algún espacio para su instalación, se ubicada junto con las jardineras.
6. Cada Tanque deberá ser instalado a una distancia mínima de 3 metros de cualquier ventana, puerta y punto de ignición o fuentes de calor (calentadores de agua, estufas, quemadoras, etc.)

1.Manzana:



Figura 36 – Ubicación vegetación y tanques de microalgas en Manzana 1.

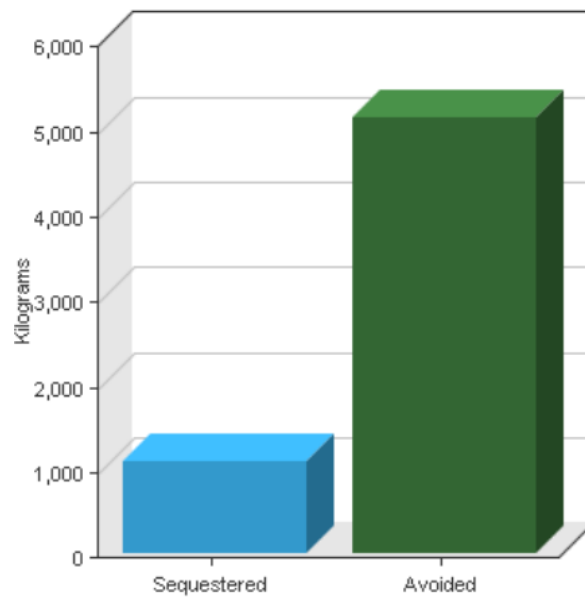


Figura 37– Resultados recolección de CO2 Manzana 1.

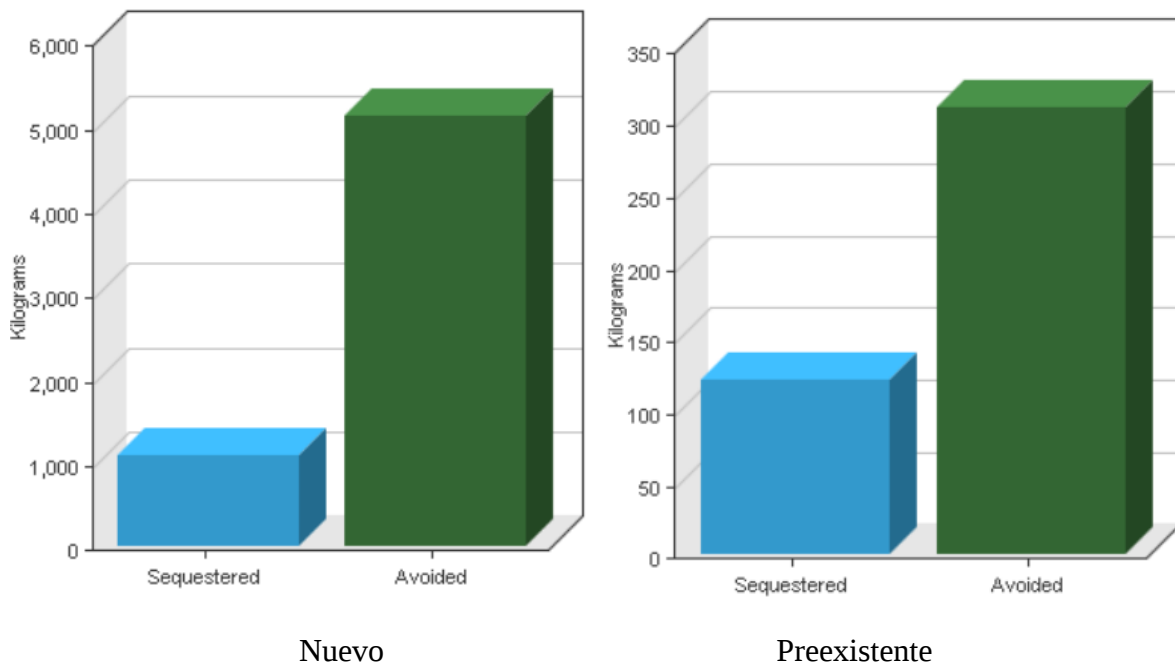


Figura 38– Comparación resultados entre vegetación preexistente y mixto Manzana 1.

En este escenario los tanques de algas logran recolectar según la simulación una cantidad de CO₂ de 6,217 kilogramos, y logra evitar la producción de 180,914 kilogramos. Dado que los tanques no producen coronas de sombra como los árboles, los gastos energéticos aumentarían a 14.600 kWh. Sin embargo, gracias a los árboles produciendo una reducción térmica de entre 30 a 170 kWh (dependiendo del tipo) los gastos térmicos logran reducirse hasta 2.040 kWh.

1. Manzana:



Figura 39- Ubicación vegetación y tanques de microalgas en Manzana 2.

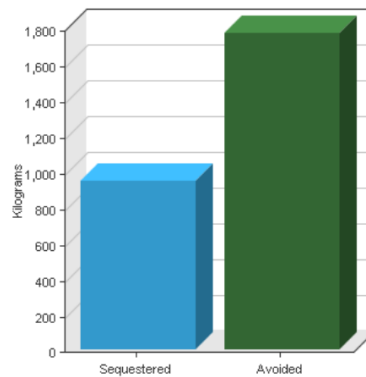


Figura 40– Resultados recolección de CO₂ Manzana 2

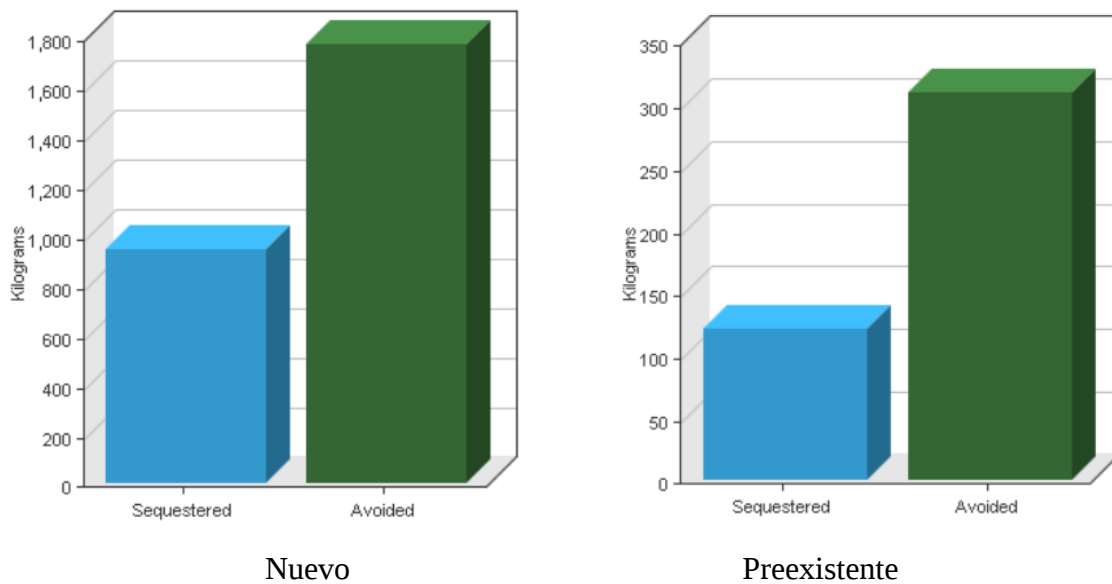


Ilustración 41– Comparación resultados entre vegetación preexistente y mixto Manzana 2.

Los tanques de algas logran recolectar según la simulación una cantidad de CO₂ de 2,723 kilogramos, y logra evitar la producción de 179,862 kilogramos. Dado que los tanques no producen coronas de sombra como los árboles, los gastos energéticos aumentarían a 26.280 kWh. Sin embargo, gracias a los árboles produciendo la reducción térmica los cuales no logran producir los tanques de microalgas, los gastos térmicos logran reducirse hasta 7.884 kWh.

2. Manzana:

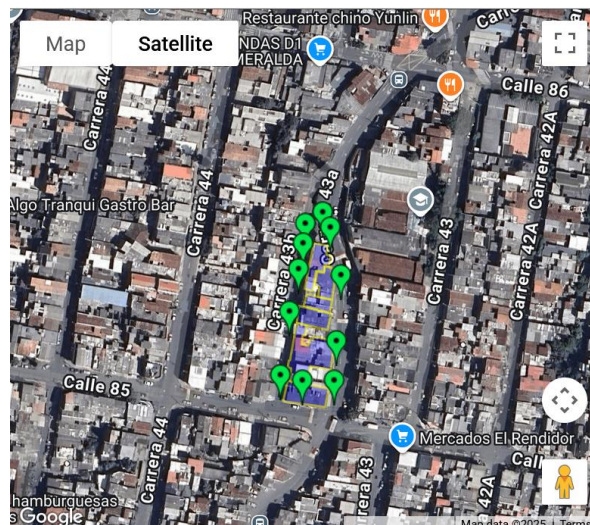


Figura 44 - Ubicación vegetación y tanques de microalgas en Manzana 3.

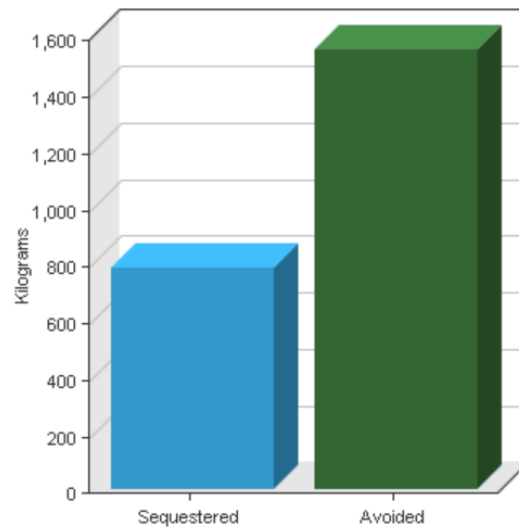


Figura 45 – Resultados recolección de CO2 Manzana 3.

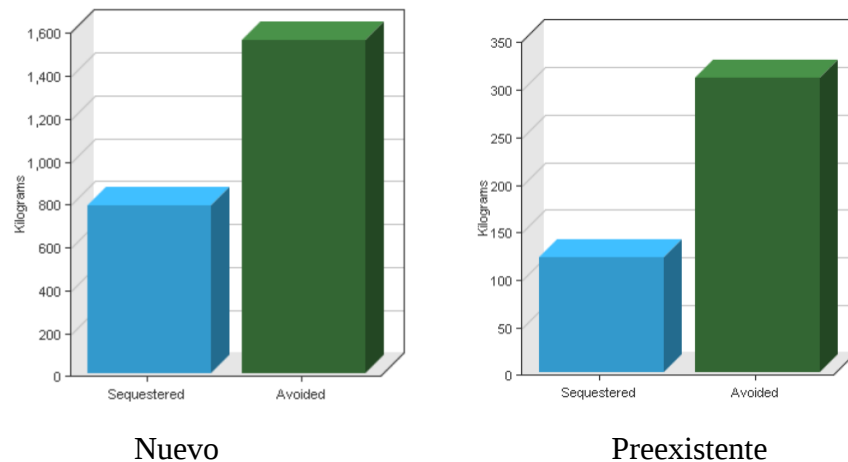


Figura 46 – Comparación resultados entre vegetación preexistente y mixto Manzana 3.

Los tanques de algas logran recolectar según la simulación una cantidad de CO2 de 2,343 kilogramos, y logra evitar la producción de 92,536 kilogramos. Dado que los tanques no producen coronas de sombra como los árboles, los gastos energéticos aumentarían a 14.600 kWh. Sin embargo, gracias a los árboles produciendo la reducción térmica los cuales no logran producir los tanques de microalgas, los gastos térmicos logran reducirse hasta 4.380 kWh

7 resultados

A partir de la comparación de los resultados entre los tres escenarios, vegetación tradicional, Tanques de Algas y mixta, se puede observar una diferencia sustancial en la capacidad de mitigación de CO₂ y eficiencia ambiental general. Los resultados reflejan que los tanques de algas son quienes presentan los valores más altos de limpieza y evitamiento de la creación de más CO₂, superando a gran escala la vegetación tradicional y sistema híbrido.

Comparación resultados limpieza CO ₂				
	Vegetacion existente	Vegetacion ajustada	Tanque Microalgas	Mixto
Manzana 1	1000 kg	4,946 kg	7,284 kg	6,217 kg
Manzana 2	500 kg	4,070 kg	4,139 kg	2,723 kg
Manzana 3	130 kg	1,582 kg	2,239 kg	2,343 kg

Tabla 12 – Comparación resultados de limpieza de CO₂

Comparación resultados CO ₂ evitados				
	Vegetacion existente	Vegetacion ajustada	Tanque Microalgas	Mixto
Manzana 1	3,000 kg	12,000 kg	287,685 kg	180,914 kg
Manzana 2	1,300 kg	37,991 kg	452,836 kg	179,862 kg
Manzana 3	310 kg	10,180 kg	140,205 kg	92,536 kg

Tabla 13 – Comparación resultados CO₂ evitados

Sin embargo, este incremento de eficiencia ambiental viene a un costo energético considerable. Los tanques de microalgas presentan los valores más altos de consumo energético en comparación de otros escenarios. Esto se debe principalmente a la composición de sistemas dentro de los tanques las cuales permiten el proceso de fotosíntesis por parte de las algas en ocurrir de manera continua. Dependiendo del diseño de los tanques de microalgas, si no se incluye dentro de ella un sistema de energía renovable como lo son los paneles solares, estos consumirán los mismos

recursos que consumen los usuarios locales dentro de sus viviendas, aumentando aún más la cantidad de gastos energéticos dentro de sus respectivas manzanas.

Comparación gastos energéticos ahorrados				
	Vegetacion existente	Vegetacion ajustada	Tanque Microalgas	Mixto
Manzana 1	3,800 kWh	5,257 kWh	34.550 kWh	14,600 kWh
Manzana 2	1,400 kWh	5.796 kWh	14.016 kWh	26.280 kWh
Manzana 3	380 kWh	2,503 kWh	7.884 kWh	14.600 kWh

Tabla 14 – Comparación gastos energéticos ahorrados

Comparación gastos termicos ahorrados				
	Vegetacion existente	Vegetacion ajustada	Tanque Microalgas	Mixto
Manzana 1	111 kWh	103.7 kWh	42,500 kWh	2.040 kWh
Manzana 2	65.2 kWh	-159.8 kWh	63,000 kWh	7.884 kWh
Manzana 3	11.9 kWh	-82.8 kWh.	3.360 kWh	4.380 kWh

Tabla 15 – Comparación gastos térmicos ahorrados

Dado que los tanques no están diseñados para generar sombra y suelen ser cerrados, los gastos energéticos aumentan aún más debido a la falta de regulación térmica que un grupo de árboles logran generar, volviendo a un aumento de gastos energéticos los cuales terminan en la producción de más CO₂ durante el mantenimiento y producción de más energía para los habitantes, lo cual llega a cancelar la producción de limpieza de CO₂ por parte de los tanques desde el comienzo de este ciclo.

Este problema se podría evitar hasta cierto nivel si los tanques son diseñados con sus paneles solares como los tienen en Liquid 3, haciendo que sus gastos energéticos queden limitados hacia si mismo y que la cantidad final de su huella ecológica quede neta. Otra propuesta puede ser la opción de que los tanques funcionen como lagos, teniendo sus cubiertas abiertas para permitir el

proceso de vaporización para ayudar a regular las temperaturas contra las fachadas. Esta segunda propuesta funcionaria mejor con fachadas con protección contra la humidificación.

El escenario de vegetación tradicional, donde se plantan más árboles y se mejora la distribución de vegetación para las manzanas estudiadas, presenta una mejora a las condiciones actuales de los escenarios originales para las simulaciones. A comparación de los tanques de microalgas, estos producen una cantidad de gastos energéticos tan bajo, que en las manzanas 2 y 3 logro hasta evitar la necesidad de uso de electricidad y sistemas térmicas en su totalidad, sus resultados siendo -159.8 kWh y -82.8 kWh respectivamente. Sin embargo, este escenario es el menos eficiente cuando se trata de la producción de aire limpia y el evitamiento de producción de CO₂, sus cantidades más grandes siendo 4946 kilogramos de CO₂ limpiado y 12000 kilogramos evitados, mientras que los tanques lograron una limpieza de 7,284 kilogramos y evito la producción de 34500 kilogramos de CO₂.

Con los tanques creando tanto gasto energético y la vegetación no produciendo las mismas grandes cantidades en el mismo periodo de tiempo, la opción ideal sería entonces el sistema mixto. Este sistema es un balance entre la vegetación tradicional y los tanques de microalgas, con sus resultados soliendo llegar a ser un intermedio de los dos sistemas previos. Sus gastos térmicos suelen estar a un promedio de entre 2000kWh y 7000kWh, y sus gastos eléctricos llegan a un promedio de 14600 kWh a 26800 kWh. De comparar estos resultados con el escenario de solo tanques de microalgas, las cuales son entre 7884 kWh y 34500 kWh para gastos eléctricos y 3360 hasta 42500 para gastos térmicos, estos no superan más de la mitad. En sentido de producción de limpieza de CO₂, el escenario mixto también se encuentra entre los primeros dos simulaciones:

8 discusión

8.1. Simplificación:

Dado que el enfoque principal de este estudio fue en la producción y limpieza del aire, se optó por no incluir los costos asociados a la instalación, operación y mantenimiento de los tanques. Esta decisión es gracias a la gran variedad en estilos y materiales en el proceso de fabricación de los sistemas, con cada compañía detrás de cada marca teniendo componentes distintos los cuales influyen su valor comercial y requerimientos de mantenimiento.

La mención de gastos energéticos se considera relevantes debido a su impacto directo con el medio ambiente. Su relación con la huella ecológica como consumidor de recursos a gran escala lo vuelve mucho más significativa a comparación con otros gastos. Su aumento o disminución se encuentra influenciado por la aproximación de vegetación y/o los tanques de algas con las fachadas de las edificaciones, ya que estos elementos llegan a contribuir en la regulación de temperatura ambiente, lo cual como resultado afecta los mismos gastos eléctricos y térmicos.

Además de eso, se identificaron limitaciones relacionadas con el programa de I-Tree con su falta de opción predeterminada modelado de algas en su software. Los resultados que se consiguieron del programa con relación a los tanques de microalgas son vienen de una mezcla de estimaciones aproximadas desde el software mismo, como de fórmulas matemáticas complementarias. Estas fórmulas se basaron en la información contextual y propiedades generalizadas de los tanques estudiados, con el fin de obtener una aproximación al comportamiento real esperado.

8.2. Análisis resultados:

Aunque en totales no se aleja mucho de los resultados de vegetación tradicional, los resultados sugieren que el escenario mixto es la opción más viable para contextos urbanos, donde se busca la optimización de calidad de aire, evitando el riesgo de pérdidas de recursos en otros sectores. No produce un nivel de gastos igual de dañinos como el escenario de solo los tanques, los cuales se podrían disminuir aún más con la instalación de sistemas alternativos como los paneles solares para que los gastos energéticos queden a cantidades nulos, y cuentan con la creación de sombra y regulación de temperaturas que logran crear los árboles tradicionales.

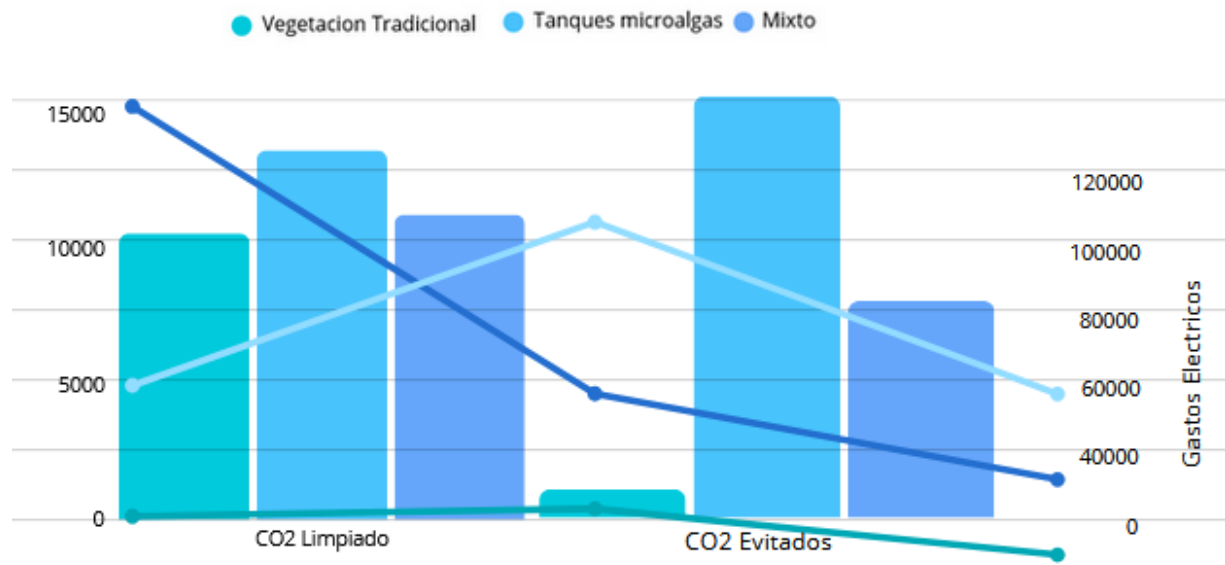


Figura 42– Comparación totales de CO2 con gastos eléctricos.

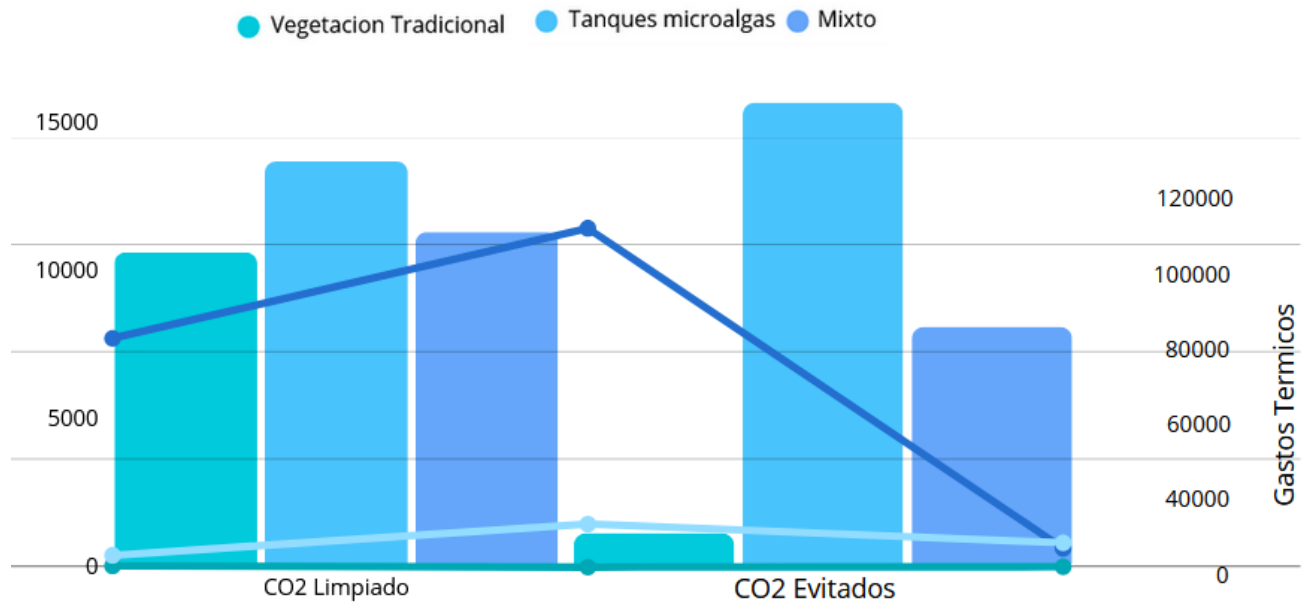


Figura 43– Comparación totales de CO2 con gastos térmicos.

9 conclusiones

Los resultados obtenidos permiten concluir que las microalgas presentan un rendimiento ambiental notablemente superior a comparación de la vegetación tradicional, logrando cantidades duplicados en limpieza de aire y evitando entre 10 a 20 veces la producción de emisiones de CO₂. Sin embargo, este nivel de eficiencia llega a conllevar un aumento considerablemente los gastos eléctricos y térmicos, los cuales pueden contrarrestar los beneficios ambientales obtenidos.

El análisis energético muestra que, en ausencia de energías renovables, los tanques de microalgas causan un aumento en la huella de carbono, generando mayores emisiones indirectas por el consumo eléctrico. Su implementación solo resulta viable solo si se acompaña sus tanques con tecnologías ecológicas complementarias que ayuden a compensar o reducir esos gastos, como sistemas de aprovechamiento energético pasivo o si se diseña de manera que los tanques cuenten con aperturas para beneficiar en la regulación térmica de las edificaciones cercanas a ellas, o donde se encuentren instaladas sobre ellos.

Alternativamente se puede mezclar el uso de Tanques de microalgas con el uso de vegetación tradicional. Esta combinación logra conseguir resultados eficientes en la captura y limpieza de CO₂ por parte de las microalgas como logra beneficiar en el aporte de regulación térmica natural, generación de sombras y reducción de radiación solar directa por parte de la vegetación, este segundo ayudando en la reducción de gastos energéticos y térmicos que causan los tanques.

Revisando los modelos existentes de Tanques de microalgas, se logran observar que:

Y-ALGAE presenta un diseño básico sin ningún tipo de compensación energética, lo cual limita su utilidad en espacios urbanizados exigentes.

BIO URBAN, aunque más avanzado y con sistemas alternativos renovables, no presenta sistemas energéticos renovables que ayuden a complementar su utilidad.

LIQUID 3 es el único sistema hasta el momento que cuenta con paneles solares como parte de sus tanques al igual de otros elementos complementarios para aprovechar a su máximo su espacio, siendo la versión más ideal para su instalación en zonas altamente densificadas.

La alta capacidad de absorción de CO₂ logra evidenciar en los tanques de microalgas abre la posibilidad de implementarlos en la arquitectura como parte de fachada ecológicas activas.

Combinado con el resto de sistemas sostenibles como los paneles solares, si siguiendo las distancias recomendadas con respecto a los elementos arquitectónicos generales (puertas, ventanas

y/o fuentes de calor), estos tanques pueden contribuir a la creación de envolventes arquitectónicos activos, ecológicamente amigables y estéticamente atractivas.

Tal como es posible extender su aplicación en el diseño de espacios públicos, donde los tanques funcionarían como elementos decorativos, puntos de encuentro o áreas de descanso, asimismo es posible la inclusión de componentes adicionales como estanterías, mesas de trabajo u otros elementos funcionales que ayuden a convertir el sistema en una infraestructura híbrida, variando en su escala y configuración.

Como conclusión final, las microalgas no deben considerarse como un reemplazo de la vegetación urbana tradicional, pero como un complemento que puede apoyarlo a la hora de mejorar la calidad de aire en zonas altamente densificadas. El uso adecuado y equilibrado ofrece la oportunidad de potenciar no solo los beneficios ecológicos, pero también diversifica las fachadas y espacios peatonales a la misma vez.

Referencias

- Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). (2024). Resumen Calidad del Aire - enero 2024. AMVA. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Documents/Resumenes-calidad-del-aire/Resumen-Calidad-del-Aire-Enero2024.pdf>
- Sistema de Alertas Tempranas de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA). (2024). Informe del episodio de calidad del aire en febrero-marzo 2024. AMVA. https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Informes-Periodo-Gestion-de-Episodios/Informe_Episodio_feb_mar_2024.pdf
- Concejo de Medellín. (s.f.). Retos de la renovación urbana en Medellín desde la perspectiva financiera y gestión predial. Concejo de Medellín. <https://www.concejodemedellin.gov.co/retos-de-la-renovacion-urbana-en-medellin-desde-la-perspectiva-financiera-y-gestion-predial/>
- Eco Inventos. (2021, 25 de diciembre). Liquid3, el "árbol líquido" que lucha contra la contaminación urbana en Belgrado. Eco Inventos. <https://ecoinventos.com/liquid3/>
- Radio 3 Cadena Patagonia. (2024, 20 de mayo). Y-ALGAE, el "árbol líquido" que está revolucionando la calidad del aire urbano. Radio 3 Cadena Patagonia <https://radio3cadenapatagonia.com.ar/y-algae-el-arbol-liquido-que-esta-revolucionando-la-calidad-del-aire-urbano/>
- France 24. (2019, 15 de agosto). Robotic trees combat air pollution in Mexico. France 24. Recuperado de <https://www.france24.com/en/20190815-environment-science-mexico-robotic-trees-air-pollution-biourban-biomitech-puebla>
- Centro de Estudios de Opinión. (1996). *Antecedentes urbanísticos de Medellín*. Universidad de Antioquia. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/2717/1/CentroEstudiosOpinion_antecedentesurbanisticosmedellin.pdf
- González, L., Ramírez, J., & Torres, P. (2021). *Mantenimiento y eficiencia en sistemas de microalgas urbanas*. Revista de Tecnología Ambiental, 18(2), 45-60.
- Martínez, C., & Pérez, A. (2020). *Energías renovables y su integración en la biotecnología urbana*. Editorial Eco Innovación.
- Ruiz, F., Gómez, D., & Herrera, M. (2022). *Biodiversidad y nuevas tecnologías en ciudades sostenibles*. Universidad Verde.

Noticias de Arquitectura. (s.f.). *Título del artículo*. Recuperado de <https://noticias.arq.com.mx/Detalles/23610.html>

Alcaldía de Medellín. (s.f.). Comuna 4 - Aranjuez: División político-administrativa y espacio público. Subsecretaría de Catastro, Medellín. https://www.medellin.gov.co/servicios/metadatos_gis/CatalogoMapas/PDF/4-Aranjuez-P.pdf

Alcaldía de Medellín. (s.f.). Barrio 0308 - Manrique Oriental: Información temática de espacio público y equipamientos. Subsecretaría de Catastro, Medellín. https://www.medellin.gov.co/servicios/metadatos_gis/CatalogoMapas/PDF/0308-ManriqueOriental-T.pdf

Nowak, D. J. (2020). *The urban forest of the United States*. (General Technical Report NRS-200). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-200>