



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**

**Trabajo de fin de carrera titulado:**

**“PROPUESTA PARA LA MITIGACIÓN DE CO<sub>2</sub> UTILIZANDO TECHOS VERDES EN LAS PARADAS DEL TROLEBÚS DEL DMQ”**

**Realizado por:**

**JORGE SEBASTIÁN VINUEZA VACA**

**Director del proyecto:**

**Ing. KATTY VERÓNICA CORAL, Ph.D.**

**Como requisito para la obtención del título de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**Quito, 16 de febrero de 2024**

## ÍNDICE

DECLARACIÓN JURAMENTADA.....	6
DECLARATORIA.....	7
El presente trabajo de investigación titulado:.....	7
DEDICATORIA .....	8
AGRADECIMIENTO .....	9
Resumen .....	10
Abstract .....	11
Introducción .....	12
Materiales y Métodos.....	19
Ubicación .....	19
Área de estudio .....	20
Emisiones de CO <sub>2</sub> en Quito .....	23
Estimación de la Captura de CO <sub>2</sub> con los techos verdes .....	25
Sistema Integrado de Trolebús.....	25
Diseño del Techo Verde .....	30
Plantas y capacidad de absorción .....	30
Resultados.....	33
Selección de especies vegetales.....	33
Cálculo del volumen diario y anual de absorción de carbono.....	36
Costos de la implementación.....	37
Discusión de resultados .....	37

Conclusiones y recomendaciones.....	39
Conclusiones.....	39
Recomendaciones.....	40
Referencias Bibliográficas.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto Invernadero .....	13
Figura 2. Ciclo del Carbono .....	15
Figura 3. Ecuación de balance fotosintético .....	15
Figura 4. Capas de un techo verde tradicional .....	16
Figura 5. Ubicación Geográfica de Quito D.M.....	19
Figura 6. Mapa del Sistema Integrado de Transporte .....	20
Figura 7. Evolución de las emisiones de GEI por actividad (kton CO <sub>2</sub> eq.).....	22
Figura 8 Emisiones de GEI por actividad (%).....	23
Figura 9 Huella de carbono total según sector y fuente de emisión para Quito DM.....	24
Figura 10 Fotografía de la Parada de la Carolina.....	29
Figura 11. Distribución de las plantas por metro cuadrado.....	34
Figura 12. Distribución de las plantas en un techo de 50mx3m .....	35

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Crecimiento anual de emisiones de CO <sub>2</sub> en Ecuador .....	20
Tabla 2. Resumen Proyección de Emisiones BAU menos metas de reducción para Quito D.M. .....	24
Tabla 3. Estaciones y Paradas del Sistema Trolebús .....	25
Tabla 4. Resumen de Estaciones y Paradas del Sistema Trolebús .....	26
Tabla 5. Dimensiones de los techos .....	27
Tabla 6. Características de las especies vegetales recomendadas.....	31
Tabla 7. Plantas seleccionadas .....	33
Tabla 8. Cálculo de la cantidad de plantas .....	36
Tabla 9. Cálculo de la captura de Carbono.....	36
Tabla 10. Costos de materiales y mano de obra por metro cuadrado .....	37

## DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, JORGE SEBASTIÁN VINUEZA VACA , con cédula de identidad número 1723436257, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge Sebastián Vinueza Vaca', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a large loop at the end.

FIRMA

1723436257

**DECLARATORIA**

**El presente trabajo de investigación titulado:**

**“PROPUESTA PARA LA MITIGACIÓN DE CO2 UTILIZANDO TECHOS VERDES EN  
LAS PARADAS DEL TROLEBÚS DEL DMQ”**

**Realizado por:**

**JORGE SEBASTIÁN VINUEZA VACA**

**como Requisito para la Obtención del Título de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**ha sido dirigido por el profesor**

**ING. KATTY VERÓNICA CORAL, Ph.D.**

**quien considera que constituye un trabajo original de su autor.**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Katty Coral', is written over a horizontal line.

**FIRMA**

**“PROPUESTA PARA LA MITIGACIÓN DE CO2 UTILIZANDO  
TECHOSVERDES EN LAS PARADAS DEL TROLEBÚS DEL  
DMQ”**

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

**PhD. MIGUEL MARTÍNEZ FRESNEDA**

**PhD. JESUS LÓPEZ VILLADA**

Después de revisar el trabajo presentado,  
lo han calificado como apto para su defensa oral ante  
el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA



## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a mi querido padre Jorge Vinueza por su sacrificio y esfuerzo al darme una carrera para mi futuro y por creer en mi capacidad, aptitudes, inteligencia y perseverancia para lograr este tan importante título. A través de este trabajo quisiera conmemorar con mucho orgullo la memoria del ser humano más fuerte y valiente que he conocido.

A mí adorada madre y hermanas gracias a su apoyo incondicional hicieron de mí una persona exitosa, responsable y honesta. Gracias a su cariño, he llegado a realizar dos de mis más grandes metas en la vida. La culminación de mi carrera profesional y el hacerlos sentirse orgullosos de esta persona que tanto los ama.

Sebastián

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios quien me ha guiado en esta etapa de mi vida, por haberme dado salud para seguir adelante día a día y me ha dado la sabiduría e inteligencia para alcanzar esta meta. Así mismo a mi padre que al pensarlo sé que al confiar en mí, puedo lograr cumplir mis metas. Más que un padre eres mi maestro y siempre estarás presente, sé que la luz de tu sabiduría me iluminará en cada paso que dé y en cada lugar que estemos.

Me siento tan afortunado de tener a tres grandes mujeres en mi vida mi madre y mis dos hermanas las cuales sienten este triunfo tanto mío como suyo, doy un profundo agradecimiento por sus palabras de aliento nunca me dejaron decaer para que siguiera adelante, que sea perseverante y cumpla con mis ideales.

A la Universidad Internacional SEK por haberme abierto las puertas, ser parte de esta prestigiosa institución en la cual no solo he adquirido el conocimiento necesario contribuyendo a mi formación profesional, sino que además he aprendido a pensar lógicamente a crear soluciones innovadoras, a trabajar en equipo , a tener una base sólida no solo en lo académico sino también en lo moral, he aprendido a ser un líder que toma decisiones no solo aplicando fórmulas o modelos, también tomando en cuenta los valores como ser humano.

A todos los docentes por su dedicación y paciencia que han dejado en mi lecciones que van más allá de lo que se enseña en una clase y de modo especial a mi tutora académica Dra. Katty Coral por confiar en mí, para realizar este proyecto, por haber sido paciente y que gracias a sus directrices pudo guiarme en los detalles para culminar mi tesis y por su dedicación como docente en mi carrera de pregrado.

Sebastián

## Resumen

El calentamiento global es en la actualidad una problemática que preocupa a toda la humanidad, debido a las actividades humanas, como la producción de la energía eléctrica que para su generación utiliza combustibles fósiles, los medios de transporte, las fábricas, las actividades agrícolas, entre otras, los niveles de gases de efecto invernadero GEI se han incrementado notablemente, siendo estos los principales causantes de este fenómeno. En la actualidad y especialmente en las ciudades, se consideran al dióxido de carbono y metano como los principales gases de efecto invernadero.

La ciudad de Quito y en general el Ecuador no son la excepción, ya que el país está ubicado en el puesto 124 del Ranking de países por emisiones de CO<sub>2</sub>, formado por 184 países.

En la ciudad de Quito, el transporte público se mueve principalmente con buses y trolebuses con combustión a Diesel, esto ha provocado que las emisiones de CO<sub>2</sub>, CO y material particulado en la ciudad de Quito sean abundantes. Buscando medios de mitigación de estas emisiones, se ha decidido investigar sobre la aplicación de techos verdes.

Los techos o azoteas verdes se consideran una opción para mitigar el impacto del calentamiento global, pues aportan atrapando o fijando el Carbono. Mediante este proyecto se analizó la factibilidad de implementar techos verdes en las paradas del sistema de Trolebús usando la infraestructura que actualmente posee, mediante investigación literaria y en campo se determinó que la planta más adecuada es la planta tipo *Sedum*, conocida comúnmente como suculenta, aptas tanto por su capacidad de captación de CO<sub>2</sub>, como por necesidad de mantenimiento, y facilidad de supervivencia a climas de la ciudad de Quito. Con un Área plantada de 7740 m<sup>2</sup>, se obtendría una captura diaria de 6.6 g de C/ m<sup>2</sup> en las terrazas, logrando una captura total diaria de 187 kg de CO<sub>2</sub>, con una captura anual de 68.367,42 kg de CO<sub>2</sub>.

**Palabras clave:** techos verdes, captura de carbono, calentamiento global.

### **Abstract**

Global warming is currently a problem that worries all of humanity due to human activities, such as producing electrical energy that uses fossil fuels for its generation, means of transportation, factories, and agricultural activities. Others, the levels of greenhouse gases (GHG) have increased significantly, these being the leading causes of this phenomenon. Currently, and especially in cities, carbon dioxide and methane are considered the leading greenhouse gases.

The city of Quito and Ecuador are no exception since the country is located in 124th place in the Ranking of countries by CO<sub>2</sub> emissions, made up of 184 countries.

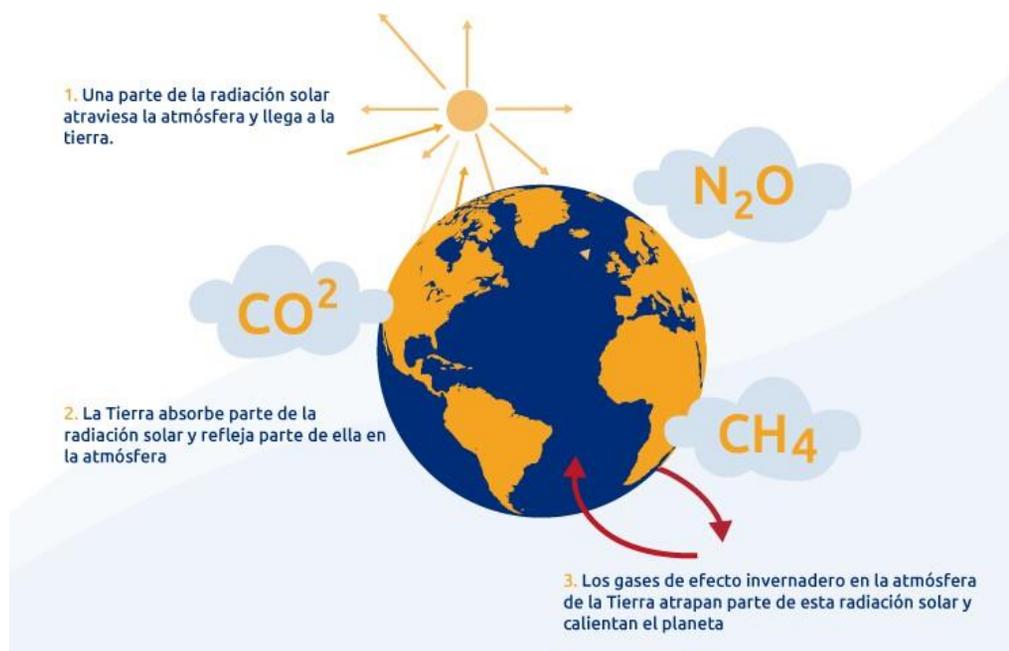
In the city of Quito, public transportation moves mainly with buses and trolleybuses with diesel combustion; this has caused abundant CO<sub>2</sub>, CO, and particulate matter emissions in the city of Quito. Looking for means to mitigate these emissions, it has been decided to investigate the application of green roofs.

Green roofs or rooftops are considered an option to mitigate the impact of global warming, as they contribute by trapping or fixing Carbon. Through this project, the feasibility of implementing green roofs at the stops of the Trolleybus system was analyzed using the infrastructure that it currently has; through literary and field research, it was determined that the most suitable plant is the Sedum type plant, commonly known as succulent, suitable both for its capacity to capture CO<sub>2</sub>, as well as the need for maintenance, and ease of survival in the climates of the city of Quito. With a planted area of 7740 m<sup>2</sup>, a daily capture of 6.6 g of C/ m<sup>2</sup> would be obtained on the terraces, achieving a total daily capture of 187 kg of CO<sub>2</sub>, with an annual capture of 68.367,42 kg of CO<sub>2</sub>.

**Keywords:** green roofs, carbon capture, global warming.

## Introducción

El cambio climático es un problema que actualmente afecta al mundo, el uso de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas, generan emisiones de dióxido de carbono y metano, principales gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático, adicionalmente, el desbroce de tierras y bosques liberan dióxido de carbono, así como la agricultura y las actividades petroleras que son fuentes importantes de emisiones de metano. Pero ¿qué es el cambio climático?, la Organización de las Naciones Unidas (Naciones Unidas, s. f.) en su Blogger se refiere como cambio climático a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Aunque los cambios se pueden dar de forma natural, desde el siglo XIX, el ser humano y sus actividades han sido los principales actores de este proceso. Al atrapar el calor del sol cerca de la superficie de la Tierra, los gases de efecto invernadero crean como una manta que envuelve el planeta y lo mantiene más cálido de lo que sería sin que existiera esta. De acuerdo con los científicos, este efecto ayuda a estabilizar la atmósfera terrestre y es esencial para que el clima de la Tierra sea agradable y habitable, sin la actuación de estos gases, la vida en el mundo como se da al momento no sería posible, el calor emitido por la Tierra se disiparía en el espacio produciendo temperaturas extremadamente bajas. Es el exceso de gases de efecto invernadero por la contaminación que ahora son desequilibrados los que amenazan con cambiar drásticamente el clima y volver al planeta inhabitable (Nuñez, 2023) En Ecuador, las emisiones de CO<sub>2</sub>, al igual que en el resto del planeta, ha crecido entre 2020 al 2021 en un 20.89% que representa un crecimiento de 7,108 megatoneladas. En 2021 se tuvo 41,141 megatoneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>, quedando Ecuador en el puesto número 124 del ranking de países por emisiones de CO<sub>2</sub>, formado por 184 países, en el que se ordenan los países de menos a más contaminantes (Datosmacro, s. f.-a), lo cual no es nada satisfactorio. La emisión de gases de efecto invernadero es uno de los mayores desafíos ambientales que enfrenta el mundo en la actualidad, en la figura 1 se puede observar el desarrollo de este proceso.



**Figura 1.** Efecto Invernadero

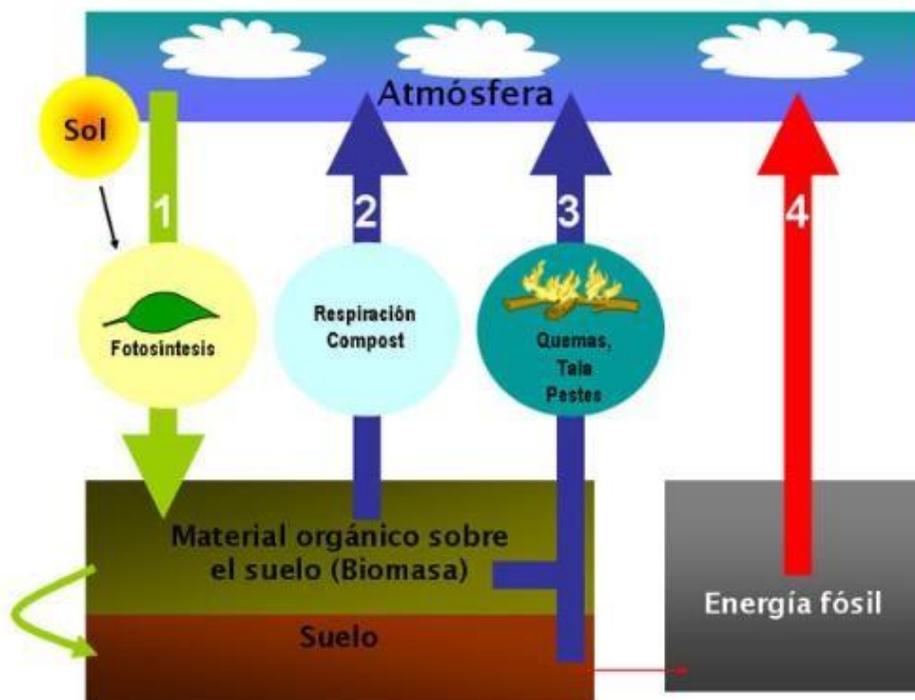
*Nota.* La figura muestra el proceso del efecto invernadero. Fuente: (Caballero, 2023)

En este contexto, la reducción de estas emisiones se ha convertido en una prioridad para muchos países y ciudades, y la captura de carbono es una de las estrategias más efectivas para lograr este objetivo, es así que en la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático, se habló de los de Sumideros de Carbono, definidos por las (Naciones Unidas, 1992) como “Cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o elimina de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de gas de efecto invernadero”, y en el Protocolo de Kioto la definición se limita a determinadas actividades de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (creación de nuevos bosques, gestión forestal y gestión de tierras agrícolas, entre otras) que se traducen en una captura del  $\text{CO}_2$  presente en la atmósfera y su almacenamiento posterior en forma de materia vegetal. Esta captura de  $\text{CO}_2$  contribuye a reducir la concentración de los Gases de Efecto Invernadero de la atmósfera, por lo tanto, a mitigar el cambio climático (“Cambio Climático - Sumideros”, s. f.).

Los techos o azoteas ecológicas se consideran como un lugar idóneo para el crecimiento de plantas fijadores de dióxido de carbono , principalmente en las urbes, con la finalidad principal de mejorar la calidad del aire, basado en los beneficios ecosistémicos que presentan las plantas (Calvo et al., 2016), tales como:

- Recuperación de áreas verdes
- Captura de dióxido de carbono y producción de oxígeno.
- Disminución de la contaminación
- Disminución de la temperatura
- Retención de la humedad en la atmósfera
- Beneficios para la salud

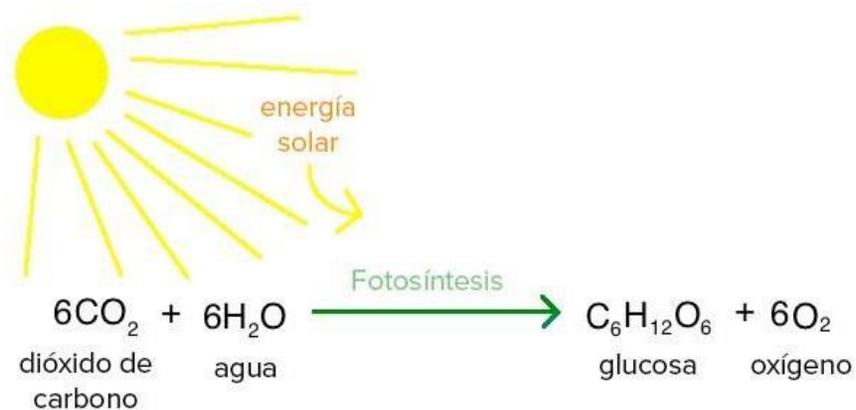
Mediante el proceso de fotosíntesis las plantas tienen la capacidad de captar el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera, metabolizándolo y obteniendo azúcares y otros compuestos, convirtiéndolo en biomasa, esta al descomponerse se convierte en suelo (humus) o en  $\text{CO}_2$ , en la tala, quema de material vegetal, como en la explotación maderera se libera el carbono acumulado en las plantas y en el suelo y este regresa a la atmósfera en forma de  $\text{CO}_2$  (Carvajal et al., s.f.), como se observa en la Figura 2.



**Figura 2.** Ciclo del Carbono

*Nota.* La figura muestra el ciclo del Carbono. Fuente: (Carvajal et al., s. f.).

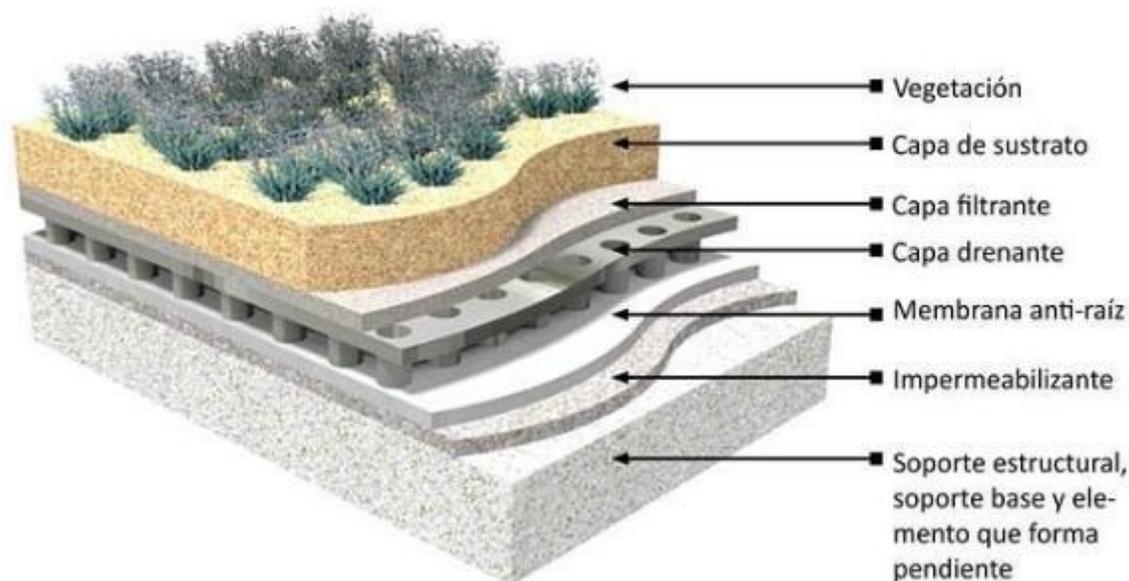
En la Figura 3, se puede observar el proceso de fotosíntesis, mediante la ecuación química de balance fotosintético.



**Figura 3.** Ecuación de balance fotosintético

*Nota:* La figura muestra la ecuación de balance químico de la fotosíntesis. Fuente: (Introducción a la fotosíntesis, 2023)

Los techos ecológicos, también conocidos como techos o azoteas verdes, son una forma de cubierta vegetal que se instalan en la parte superior de los edificios o estructuras, funcionan como un microhábitat. Estos tienen generalmente seis capas (Jiménez-López et al., 2013):



**Figura 4.** Capas de un techo verde tradicional

Nota. La figura muestra las capas o la estructura de un techo verde. Fuente: (Jiménez-López et al., 2013)

- Capa vegetal, compuesta por las plantas y la vegetación.
- Capa de Sustrato, o material para el crecimiento de las plantas, es una mezcla de tierra de vivero y otros compuestos.
- Capa filtrante, capa de tela que contiene a la tierra y a las raíces, pero permite el paso del agua de drenaje.
- Capa Drenante, en esta capa se ejecuta el drenado y captación de agua pluvial, compuesta por materiales de grano grande como la rena que permiten el paso del agua, pero no de otros compuestos sólidos.
- Membrana anti-raíz que va a evitar que las raíces puedan desgastar las estructuras.

- Membrana impermeabilizante para detener el paso del agua y que se filtre la humedad a las edificaciones.

Se identifican tradicionalmente dos tipos de techos o azoteas verdes (Zielinski et al., 2012):

**Intensivo:** Poseen capas de sustrato o espesores de suelo mayores a 15 – 20 cm. Estos techos verdes están ubicados sobre inmuebles planos y permiten la siembra de plantas vivaces, leñosas y superficies de césped y deben ser abastecidos regularmente de nutrientes y agua, y requieren de un cuidado especial con mano de obra calificada.

**Extensivo:** Con un espesor de suelo menor de 10 – 15 cm, son plantaciones que crecen naturalmente con: musgos, pastos silvestres, hierbas plantas que no necesitan de mucho cuidado, diseñados para ser autosuficientes, requieren mantenimiento mínimo.

Las plantas de los techos ecológicos absorben CO<sub>2</sub> a través de la fotosíntesis y liberan oxígeno a la atmósfera. Además, los techos ecológicos ayudan a reducir el efecto de isla de calor urbano y a mejorar la calidad del aire al filtrar los contaminantes.(Zielinski et al., 2012).

Se exploró en esta investigación cómo la implementación de techos ecológicos en las paradas del trolebús en el Distrito Metropolitano de Quito puede contribuir a la captura de CO<sub>2</sub> y mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos, esta propuesta está encaminada a capturar las emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte público, como medida de mitigación al cambio climático.

En el caso de las paradas del trolebús en Quito, la instalación de techos ecológicos podría contribuir a la captura de CO<sub>2</sub> emitido por los vehículos y mejorar la calidad del aire en las paradas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la implementación de techos ecológicos requiere una planificación adecuada, un mantenimiento regular y un costo de inversión inicial.

Además, es importante recordar que la captura de CO<sub>2</sub> mediante techos ecológicos es una medida complementaria y no sustitutiva de otras medidas necesarias para reducir las

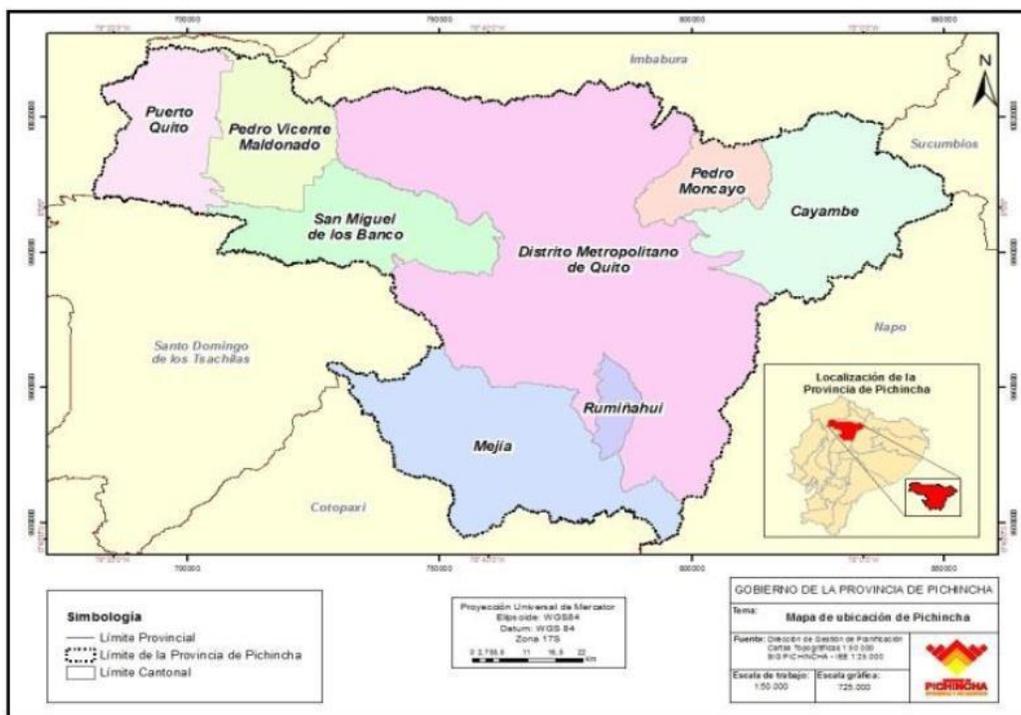
emisiones de gases de efecto invernadero en el sector del transporte. Estas medidas pueden incluir la renovación de la flota de vehículos y la promoción de modos de transporte más sostenibles, como el transporte público y la bicicleta.

Los techos ecológicos, se ha comprobado, son una estrategia efectiva para la captura de CO<sub>2</sub> y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, son capaces de absorber el CO<sub>2</sub> del aire y almacenarlo en la biomasa de las plantas, lo que contribuye a mitigar los efectos del cambio climático, mejorar la calidad del aire urbano, reducir la temperatura del interior de las paradas y mejorar del confort térmico de los usuarios. (*Mesa Nacional de Aprovechamiento de Masa Residual - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s. f.*).

## Materiales y Métodos

### Ubicación

Quito es la segunda ciudad capital más alta del mundo a 2830 metros sobre el nivel del mar, tiene una superficie de 4.183 km<sup>2</sup> y alrededor de 2.2 millones de habitantes de acuerdo con el censo del 2010, está ubicado en plena mitad del mundo, Coordenadas: 0°13'12"S 78°30'45"O. En la figura 6 se puede observar la ubicación de Quito en Ecuador y Pichincha. El clima de Quito es variable, con temperaturas que pueden ir de los 25 grados centígrados de día a los 10 grados en la noche y no es extraño que en un mismo día se combinen fuertes lluvias, temperaturas bajas y soles brillantes. Se distinguen dos temporadas: una seca, que va desde mayo hasta septiembre y otra lluviosa que va de octubre a abril (FLACSO, s. f.).



**Figura 5.** Ubicación Geográfica de Quito D.M.

Fuente: (GAD Pichincha, 2015)

### Área de estudio

El área de estudio comprendió las paradas y estaciones del Sistema Integrado de Trolebús del Distrito Metropolitano de Quito, en la Figura 6 se puede observar un mapa del sistema Integrado de Transporte de Quito, en color naranja la troncal de Trolebús, a la que hace referencia este documento.

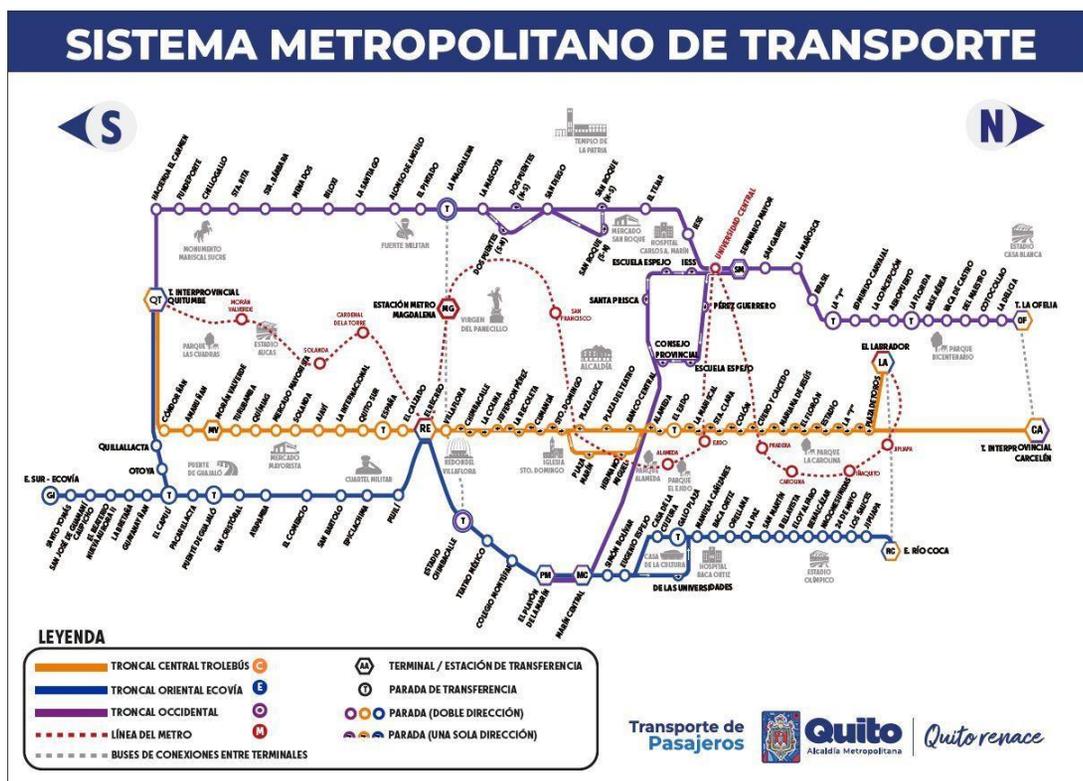


Figura 6. Mapa del Sistema Integrado de Transporte

Nota. En color naranja la red transporte Trolebus. Fuente: (Municipio D.M. de Quito, 2017a)

Para la elaboración de este documento se recopiló información y datos de documentos estadísticos y prensa nacional, así se tiene en la Tabla 1 el crecimiento anual de emisiones de CO<sub>2</sub>, del país entre 2020 y 2021, mismos que han crecido 7,108 megatoneladas, correspondiente al 20,89% respecto a 2020 (Datosmacro, n.d.).

Tabla 1. Crecimiento anual de emisiones de CO<sub>2</sub> en Ecuador

Fecha	CO <sub>2</sub> Totales Mt	CO <sub>2</sub> kg/1000\$	CO <sub>2</sub> t per capita
1980	12,819		1,61
1981	14,111		1,72
1982	14,212		1,69

Fecha	CO <sub>2</sub> Totales Mt	CO <sub>2</sub> kg/1000\$	CO <sub>2</sub> t per capita
1983	13,354		1,55
1984	13,765		1,56
1985	14,808		1,64
1986	15,545		1,68
1987	14,28		1,5
1988	16,077		1,65
1989	16,218		1,63
1990	17,587	0,21	1,72
1991	17,62	0,2	1,68
1992	18,556	0,21	1,73
1993	18,096	0,2	1,65
1994	18,97	0,2	1,69
1995	20,818	0,21	1,82
1996	23,985	0,24	2,05
1997	24,982	0,24	2,09
1998	24,53	0,23	2,02
1999	21,707	0,21	1,75
2000	22,061	0,21	1,75
2001	24,307	0,23	1,89
2002	24,308	0,22	1,86
2003	24,845	0,22	1,87
2004	26,217	0,21	1,94
2005	28,288	0,22	2,06
2006	30,251	0,22	2,17
2007	30,841	0,22	2,17
2008	31,928	0,21	2,21
2009	34,761	0,23	2,37
2010	37,466	0,24	2,51
2011	37,807	0,23	2,49
2012	37,984	0,21	2,46
2013	40,401	0,22	2,58
2014	42,544	0,22	2,68
2015	42,301	0,22	2,62
2016	41,04	0,22	2,5
2017	39,75	0,2	2,39
2018	41,294	0,21	2,45
2019	40,661	0,21	2,38
2020	34,033	0,19	1,96
2021	41,141	0,22	2,34

*Nota:* Datos tomados del Blog Datosmacro.com Emisiones de CO<sub>2</sub> Ecuador 2021. Fuente:

(Datosmacro, n.d.).

De acuerdo con los Balance Energético Nacional, para el año 2022 en el Ecuador las emisiones de CO<sub>2</sub> ascienden a 41.496 kton CO<sub>2</sub> eq, estas emisiones del sector de la energía han sido

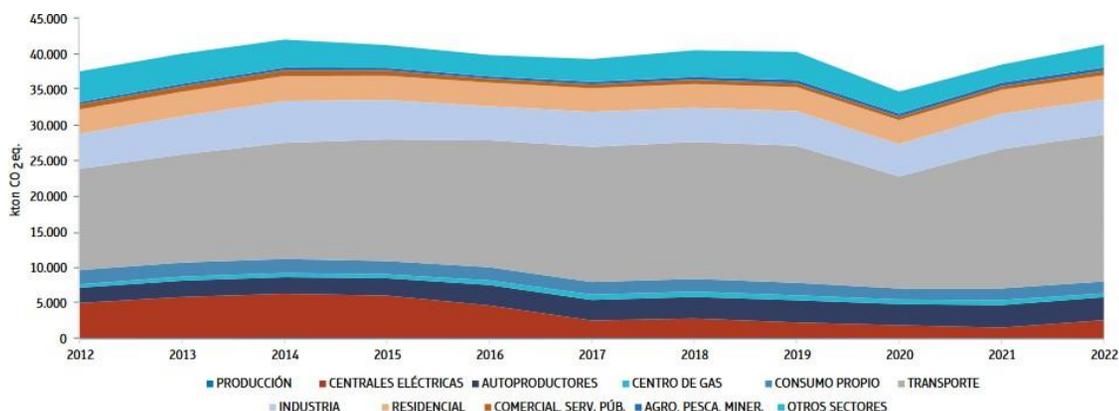
estimadas con base a las Directrices del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) del 2006 e incluyen en el cálculo las siguientes categorías (Ministerio de Energía y Minas, 2022),  
Exploración y explotación de fuentes primarias de energía.

Transformación de fuentes energéticas primarias y secundarias en otras fuentes secundarias en refinerías, centrales eléctricas, centros auto productores, y otros centros de transformación.

Transporte y consumo propio de combustibles.

Uso de combustibles en aplicaciones estacionarias y móviles en los distintos sectores de consumo.

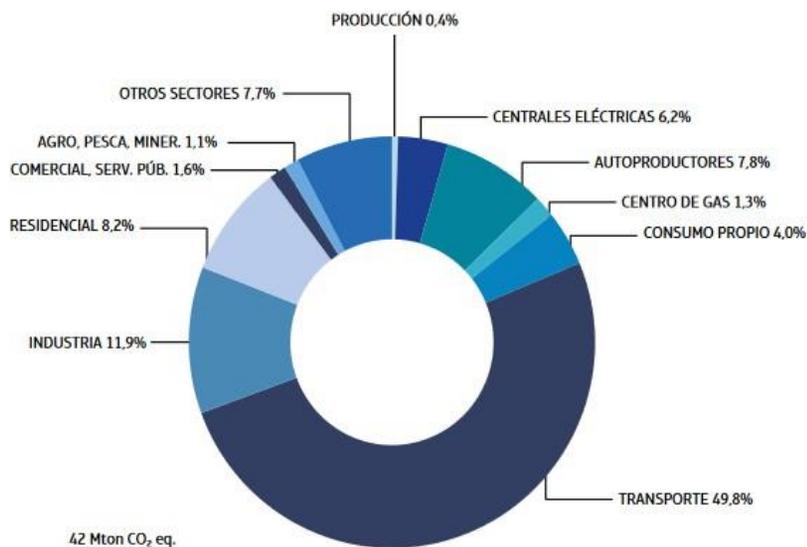
Esta evolución entre los años 2012 y 2022 se puede observar en la **Figura 7**.



**Figura 7.** Evolución de las emisiones de GEI por actividad (kton CO<sub>2</sub> eq.)

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas, 2022)

En la **Figura 8** se puede observar cómo ha evolucionado las emisiones de Gases de Efecto invernadero GEI en el Ecuador, siendo el sector del transporte el que aporta mayormente estos valores, se puede observar en la figura que en porcentaje corresponde al 49.8%. (BEN 2022, 2023)

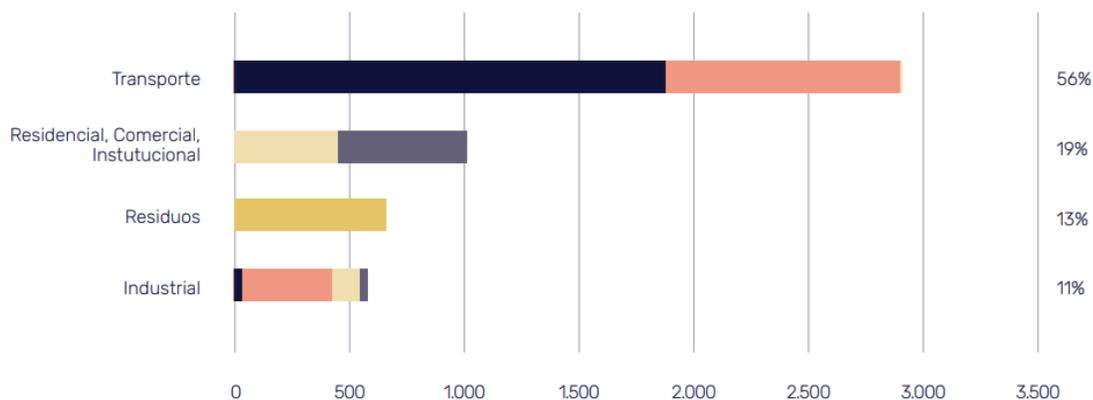


**Figura 8** Emisiones de GEI por actividad (%)

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas, 2022)

### Emisiones de CO<sub>2</sub> en Quito

De acuerdo con el Diario El Comercio del 14 de mayo de 2015, la Huella de Carbono de Quito, presentada en agosto del 2014, reveló que se emiten 2,8 millones de toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera a lo cual los automotores aportan con el 56% (Puente, 2015a). Esto se puede corroborar en la Figura 9 que presenta los datos presentados por el CAF (Corporación Andina de Fomento para Quito).



	Industrial	Residuos	Residencial, comercial e institucional	Transporte
● Gasolina	43.388	-	-	1.883.525
● Diesel	387.166	-	-	1.018.409
● Electricidad	122.780	-	456.487	471
● GLP	32.033	-	562.852	-
● Rellenos sanitarios	-	661.689	-	-

**Figura 9** Huella de carbono total según sector y fuente de emisión para Quito DM.

*Nota.* Dato en miles de t CO<sub>2e</sub>. Fuente: (Servicios Ambientales S.A., 2017)

En el mismo documento presentado por el CAF, se presenta un análisis de las proyecciones de las emisiones y la definición de las metas de reducción a corto, mediano y largo plazo, respectivamente, entregando estos valores por sector y en el tiempo, estos datos se encuentran resumidos en la Tabla 2.

**Tabla 2**

Resumen Proyección de Emisiones BAU menos metas de reducción para Quito D.M.

Descripción	Residencial / Comercial	Residuos	Industria	Transporte	Total
Proyección de emisiones BAU	1.793.929	1.737.478	904.470	11.216.985	15.652.861
	11%	11%	6%	72%	
Meta de reducción	125.575	156373	244.207	2916.416	3.442.571
	7%	9%	27%	26%	
Valor esperado	1.668.354	1.581.105	660.263	8.300.569	12.210.290
	14%	13%	5%	68%	

*Nota.* Datos en toneladas CO<sub>2e</sub> proyectados al año 2025.. Fuente: (Servicios Ambientales S.A., 2017).

### Estimación de la Captura de CO<sub>2</sub> con los techos verdes

Para realizar el cálculo de la estimación de CO<sub>2</sub>, se investigó y seleccionaron plantas con buena capacidad de captura de CO<sub>2</sub>, su capacidad de captación por metro cuadrado por día, se calculó el área disponible en las paradas de del Sistema Trolebús.

Multiplicando el área disponible para plantas las especies por la capacidad de captura de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado al día y multiplicando por los 365 días del año se obtuvo los volúmenes totales de captura de CO<sub>2</sub> estimados.

### Sistema Integrado de Trolebús

El sistema integrado de Trolebús es el primer sistema de transporte público municipal eléctrico del país que es un referente a nivel nacional y de Sudamérica por contar con infraestructura propia, carriles exclusivos y línea área de contacto. (*Corredores del sistema*, s. f.).

**Tabla 3.** Estaciones y Paradas del Sistema Trolebús

DENOMINACIÓN	TIPO
QUITUMBE	TERMINAL / ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA
CÓNDOR ÑAN	PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)
AMARU ÑAN	PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)
MORÁN VALVERDE	TERMINAL / ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA
TURUBAMBA	PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)
QUÍMIAG	PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)
MERCADO MAYORISTA	PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)
SOLANDA	PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)
AJAVÍ	PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)
LA INTERNACIONAL	PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)
QUITO SUR	PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)
ESPAÑA	PARADA DE TRANSFERENCIA
EL CALZADO	PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)
EL RECREO	TERMINAL / ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA
VILLAFLORA	PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)
CHIMBACALLE	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
CHIMBACALLE	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
LA COLINA	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
JEFFERSON PÉREZ	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
LA RECOLETA	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
LA RECOLETA	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)

DENOMINACIÓN	TIPO
CUMANDÁ	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
CUMANDÁ	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
STO. DOMINGO	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
PLAZA CHICA	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
PLAZA MARÍN	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
PLAZA DEL TEATRO	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
HERMANO MIGUEL	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
BANCO CENTRAL	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
ALAMEDA	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
ALAMEDA	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
EL EJIDO	PARADA DE TRANSFERENCIA
LA MARISCAL	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
LA MARISCAL	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
STA. CLARA	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
STA. CLARA	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
COLÓN	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
COLÓN	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
CUERO Y CAICEDO	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
CUERO Y CAICEDO	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
MARIANA DE JESÚS	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
MARIANA DE JESÚS	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
EL FLORÓN	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
EL FLORÓN	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
ESTADIO	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
ESTADIO	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
LA "Y"	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
LA "Y"	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
PLAZA DE TOROS	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
PLAZA DE TOROS	PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)
EL LABRADOR	TERMINAL / ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA
CARCELÉN	TERMINAL / ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA

*Nota.* Detalle de la red transporte Trolebus. Fuente: (Municipio D.M. de Quito, 2017a)

En el detalle de la **Tabla 3**, se puede apreciar que el sistema cuenta con cuatro tipos de paradas, resumidas en la siguiente **Tabla 4**.

**Tabla 4.** Resumen de Estaciones y Paradas del Sistema Trolébús

DENOMINACIÓN	TOTAL
TERMINAL / ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA	5
PARADA DE TRANSFERENCIA	2
PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)	10
PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)	34

Fuente: (Municipio D.M. de Quito, 2017b)

Para fines de este proyecto se tomaron las paradas de una dirección y de doble dirección, en la Tabla 5 **Tabla 4** se muestran las dimensiones de las terrazas o cubiertas de las paradas objeto de este estudio:

**Tabla 5.** Dimensiones de los techos

DENOMINACIÓN	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )
<b>PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)</b>			
CÓNDOR ÑAN	80	3	240
AMARU ÑAN	80	3	240
TURUBAMBA	80	3	240
QUÍMIAG	80	3	240
MERCADO MAYORISTA	80	3	240
SOLANDA	80	3	240
AJAVÍ	80	3	240
LA INTERNACIONAL	80	3	240
QUITO SUR	80	3	240
EL CALZADO	80	3	240
VILLAFLORES	80	3	240
<b>PARADA (UNA SOLA DIRECCIÓN)</b>			
CHIMBACALLE	50	3	150
CHIMBACALLE	50	3	150
LA COLINA	50	3	150
JEFFERSON PÉREZ	50	3	150
LA RECOLETA	50	3	150
LA RECOLETA	50	3	150
CUMANDÁ	50	3	150
CUMANDÁ	50	3	150
STO. DOMINGO	50	3	150
PLAZA CHICA	50	3	150
PLAZA MARÍN	50	3	150

DENOMINACIÓN	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )
<b>PARADA (DOBLE DIRECCIÓN)</b>			
PLAZA DEL TEATRO	50	3	150
HERMANO MIGUEL	50	3	150
BANCO CENTRAL	50	3	150
ALAMEDA	50	3	150
ALAMEDA	50	3	150
LA MARISCAL	50	3	150
LA MARISCAL	50	3	150
STA. CLARA	50	3	150
STA. CLARA	50	3	150
COLÓN	50	3	150
COLÓN	50	3	150
CUERO Y CAICEDO	50	3	150
DENOMINACIÓN	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )
CUERO Y CAICEDO	50	3	150
MARIANA DE JESÚS	50	3	150
MARIANA DE JESÚS	50	3	150
EL FLORÓN	50	3	150
EL FLORÓN	50	3	150
ESTADIO	50	3	150
ESTADIO	50	3	150
LA "Y"	50	3	150
LA "Y"	50	3	150
PLAZA DE TOROS	50	3	150
PLAZA DE TOROS	50	3	150
<b>TOTAL</b>			<b>7740</b>

Nota. Muestra las áreas de los techos del sistema Trolebús. (Corredores del sistema, s. f.)

Las paradas de Trolebús tienen una estructura que ya se encuentra lista para la implementación de techos verdes y cuentan con un sistema de drenaje, esto se puede observar en la Figura 10.



**Figura 10** Fotografía de la Parada de la Carolina

Nota. Fotografía en la que se puede observar la estructura de las paradas de Trolebus. Fuente: (Trolebús, 2017).

En el año 2016 mediante un Convenio de Cooperación Interinstitucional entre la empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros Quito (EPMTPQ) y Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP), esta última se comprometió a realizar el mantenimiento de las cubiertas ajardinadas de las 44 estaciones del Corredor Central Trolebús, objeto de esta investigación, sin embargo por temas de presupuesto y trámites burocráticos hasta el 2018 no fueron ejecutados los mismos. (EPMMOP, 2017).

El 5 de mayo de 2017 la Dirección de Áreas Naturales, inspeccionó y elaboró un informe sobre el estado de las cubiertas ajardinadas de las paradas de Trolebús, el 95% de las mismas se encuentran en mal estado, en muchas existe falta de plantas con espacios vacíos y en otras no existen plantas. (EPMMOP, 2017).

Entre las plantas seleccionadas se encuentra la quinceañera (*Aptenia*), escancel blanco (*Aerva sanguinolenta*), variagata (*Hedera algeriensis*), fosforito (*Cuphea*), durante (*Duranta repens*), entre otras (EPMMOP, 2017) de las cuales: quinceañera, al ser de la familia de las suculentas es apta para suelos difíciles y no requiere mayores cuidados y riego. (Ultimas Noticias,

2011), escancel blanco, necesita semisombra, el riego depende de la humedad de la tierra, se debe podar cada dos meses, antes de que florezca, es conveniente abonarla cada 15 días con humus (nitrógeno), es susceptible al pulgón y mosca blanca y debe fumigarse cada tres semanas.(El Comercio, 2011). Variagata, requiere riego y drenaje, limpieza de las hojas y abonado. (Blog Verdecora, s. f.). Fosforito, requier evitar el excesivo asoleamiento, mejor semisombra, resistencia al frío escasa, protección contra heladas, suelo suelto y fértil y riego con abundancia. (Infojardín, s. f.). Duranta, requiere riego, poda y limpieza. (Valdez, 2021).

### **Diseño del Techo Verde**

Una vez que se disponen de los datos de dimensiones y estructura que se usarán para los techos verdes, se requiere identificar las características de las especies vegetales que permitan la compensación urbana de emisiones de CO<sub>2</sub> generados por los vehículos que conforman el trolebús de Quito, el tipo de techo verde que se propone implementar en la zona de estudio debe requerir, en la medida de lo posible, poco o nulo mantenimiento, ser liviano debido a que no se conoce el estado estructural de las paradas del Trole.

Se han evaluado los dos tipos de techo (intensivo y extensivo), y se optó por recomendar la implementación de un techo extensivo, teniendo en cuenta que satisface todos los requisitos identificados para la zona de estudio, como se puede validar en la información presentada en la introducción de este documento, ya que requieren bajo mantenimiento, se instalan en lugares inaccesibles, la vegetación es de bajo tamaño, lo que hace que estos techos no tienen mucho peso (Zielinski et al., 2012).

### **Plantas y capacidad de absorción**

En la Tabla 6 se muestran las características de las especies *Sedum*, familia de las suculentas, también se encuentra la especie de las Hiedras, sin embargo, estas últimas son recomendadas para paredes o fachadas verdes por su estilo colgante. Adicionalmente a la

información recopilada de fuentes bibliográficas, en investigación de campo en los viveros de venta de plantas la ciudad de Quito se confirmó que las plantas de la especie Sedum más conocidas como suculentas, tienen como característica que requieren poco mantenimiento, se adaptan al clima y sol de la ciudad, no requieren mucho riego y se expanden fácilmente.

**Tabla 6.** Características de las especies vegetales recomendadas

Nombre común	Nombre científico	Tipo de fotosíntesis	Mantenimiento	Captura diaria (g de C/ m <sup>2</sup> )
Lágrima de María	Sedum spurium	CAM	Tolera bien climas calurosos y secos. Riego abundante poco frecuente. Necesita buen drenaje para evitar que la planta se pudra. Necesita luz.	7.06
Siempreviva	Sedum praealtum	CAM	Tolera bien climas calurosos y secos. Riego abundante poco frecuente. Necesita buen drenaje para evitar que la planta se pudra. Necesita luz.	6.69
Alfombra de coral	Sedum álbum L	CAM, C3	Tolera bien climas calurosos y secos. Riego abundante poco frecuente. Necesita buen drenaje para evitar que la planta se pudra. Necesita luz.	6.94
Uña de gato	Sedum sediforme	CAM	Exposición a pleno Sol. Precisa poco riego. Alta resistencia a plagas y enfermedades	7.06
Hiedra	Hedera hélix	CAM	Precisa riego moderado. Admite cualquier exposición. Tolerancia máxima al frío: < -1°C	0,45

*Nota.* Muestra las características de las plantas recomendadas por su capacidad de absorción de CO<sub>2</sub>. Fuente: Adaptado varios autores.

Existen varios estudios que indican que las plantas y proporcionan datos de mediciones de captura de carbono de la especie Sedum, en otro estudio también aparece la especie Frankenia thymifolia con una mejor capacidad de captura que Sedum, sin embargo en el mismo estudio se analiza la cantidad de carbono que no se emite al ambiente debido a la reducción de consumo de energía gracias a la instalación de techos verdes, en el que Sedum tiene probablemente la mayor conservación de energía en un año lo cual reduce el consumo de energía tanto en calefacción como en refrigeración. (Seyedabadi et al., 2021). Se ha elegido las

especies Sedum, porque estudios que proporcionan datos que permiten el cálculo de la captura de CO<sub>2</sub>, adicional porque en estos estudios muestran sus ventajas y su desarrollo en techos extensivos pudiendo prosperar en diversas condiciones de clima y riego.(Rojas & Edith, 2022). Otro dato interesante de la investigación es que por reducción de consumo de energía por acción de la implementación de techos verdes reduce emisiones aproximadamente 28,16 kg/m<sup>2</sup> con Sedum acre, 26,48 kg/m<sup>2</sup> con Frankenia thymifolia y 23,44 kg/m<sup>2</sup> con Vinca major de CO<sub>2</sub>.

Adicionalmente las especies sedum tienen fotosíntesis tipo CAM (Crassulacean Acidic Metabolism; en castellano Metabolismo ácido de crasuláceas), estas se adaptan a ambientes poco favorables y en los que no cualquier organismo es capaz de sobrevivir, estas logran sobrevivir en lugares áridos, es decir, con muy baja disponibilidad de agua; mas no sólo sobreviven, sino que se desarrollan, son capaces de completar un ciclo de vida y mantenerse durante muchos años en ese ambiente; a esta capacidad se le llama tolerancia al estrés hídrico severo, este tipo de fotosíntesis les permite asimilar el CO<sub>2</sub> durante la noche, el cual es tomado de la atmósfera, por ello es llamado CO<sub>2</sub> atmosférico (Facultad de Biología-Xalapa, 2016).

## Resultados

### Selección de especies vegetales

Se han seleccionado tres tipos de suculentas (*sedum*): Lágrima de María o *Sedum spurium*, Alfombra de coral o *Sedum album L* y la Uña de gato o *Sedum sediforme*.

**Tabla 7.** Plantas seleccionadas

Nombre común	Nombre científico	Mantenimiento
Lágrima de María	<i>Sedum spurium</i>	
Alfombra de coral	<i>Sedum album L</i>	

Nombre común	Nombre científico	Mantenimiento
Uña de gato	<i>Sedum sediforme</i>	

Fuente: Fotografía vivero de Quito.

Las terrazas o techos disponen de áreas de 150 y 240 m<sup>2</sup>, debido a la capacidad de expandirse o crecer se instalarán en los techos cada 0.20 m (20 cm), dejando espacio para su desarrollo. En la Figura 11 se muestra un ejemplo de cómo se propone distribuir las plantas en el espacio de un metro cuadrado.

	0,20 m	0,20 m	0,20 m	0,20 m	0,20 m
0,20 m					
0,20 m					
0,20 m					
0,20 m					
0,20 m					

Figura 11. Distribución de las plantas por metro cuadrado

En la Figura 12, se muestra el diseño o distribución de las plantas seleccionadas en un techo de 50m x 3m, para el techo de 80m x 3m se seguirá el mismo esquema.

	1 m	1 m	1 m
10 m			
10 m			
10 m			
10 m			
10 m			

**Figura 12.** Distribución de las plantas en un techo de 50mx3m

*Nota.* Muestra la distribución de las plantas seleccionadas en un techo.

Con la distribución de los párrafos anteriores y las dimensiones de los techos de las paradas de trolebus, se llega a concluir que se requieren 64500 plantas de cada tipo seleccionado, en la Tabla 8 se muestran los cálculos, conociendo que por metro cuadrado se requiere 25 plantas.

**Tabla 8** Cálculo de la cantidad de plantas

MEDIDAS DE TECHO	ÁREA POR TECHO	ÁREA TOTAL	CANTIDAD DE PLANTAS	CANTIDAD POR TIPO DE PLANTA
50m x 3m	150 m <sup>2</sup>	5100	127500	42500
80m x 3m	240 m <sup>2</sup>	2640	66000	22000
<b>TOTAL</b>		<b>7740</b>	<b>193500</b>	<b>64500</b>

*Nota.* La tabla muestra la cantidad total plantas y total por tipo.

### Cálculo del volumen diario y anual de absorción de carbono

Para el cálculo de la cantidad capturada de carbono, se usa el valor promedio capturado por la plantas Sedum 1187g C/m<sup>2</sup> en un periodo de 6 meses (Getter et al., 2009), que por día significa

**Tabla 9** Cálculo de la captura de Carbono

Área plantada (m <sup>2</sup> )	Captura diaria (g de C/ m <sup>2</sup> )	Total captura diaria (g de C)	Total Captura anual (g de C)
7740	6,6	51.804	18.645.660

*Nota.* La tabla muestra la cantidad total de C fijado diaria y anual.

En la Tabla 9 se puede observar que con 7740 m<sup>2</sup> plantados en techos verdes se puede absorber 18.645,66 kg de C que corresponde a 68.367,42 kg de CO<sub>2</sub>, es decir 68,5 toneladas CO<sub>2</sub>, que corresponde al 8x10<sup>-4</sup>% de las emisiones generadas por el parque automotor de Quito al año.

## Costos de la implementación

En la Tabla 10, se muestran los costos tanto de materiales como de mano de obra para un metro cuadrado de plantación.

**Tabla 10** *Costos de materiales y mano de obra por metro cuadrado*

	Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
<b>Sustrato</b>	Filtro	m <sup>2</sup>	1,05	\$ 3,00	\$ 3,15
	Tierra negra	lb	60	\$ 0,05	\$ 3,00
	Compus	kg	10	\$ 0,30	\$ 3,00
	Humus	kg	20	\$ 0,25	\$ 5,00
	Planta sedum	unidad	25	\$ 0,75	\$ 18,75
<b>Total materiales</b>					<b>\$ 32,90</b>
	Labor	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
	Especialista	HH	0,5	\$ 10,00	\$ 5,00
	Jardinero	HH	0,5	\$ 5,00	\$ 2,50
	Ayudante	HH	0,5	\$ 4,00	\$ 2,00
<b>Total mano de obra</b>					<b>\$ 9,50</b>
<b>Total por metro cuadrado</b>					<b>\$ 42,40</b>

Siendo el costo por 7740 m<sup>2</sup>, por tanto, \$ 328.176,00 dólares americanos.

## Discusión de resultados

El Distrito Metropolitano de Quito, en el Sistema de Trolebús cuenta con un espacio apto y listo para la instalación o implementación de techos o azoteas que permitan reducir los impactos que genera la contaminación ambiental por GEI, el gobierno local debería tomar acciones sobre este tema, ya que los efectos del calentamiento global van en crecimiento y afecta a la humanidad.

Para corroborar los resultados de este documento, sería importante realizar un estudio de las emisiones de carbono de la ciudad de Quito, con un detalle según el origen, que permita

conocer cuales son las principales fuentes de emisiones, con base a ello conocer que cantidad exactamente corresponde al parque automotor de la ciudad de Quito.

Los resultados obtenidos de la investigación y los cálculos, respecto a los volúmenes de captación de CO<sub>2</sub> que se lograrían absorber con la implementación de los techos verdes en las paradas del Sistema Trolebús son relativamente pequeños debido a que se ha comparado con el volumen de emisiones de todo el sistema de transporte de la ciudad de Quito, para poder hacer una comparación efectiva se requiere obtener el dato de emisiones que corresponden directamente al Sistema Trolebús. Si se compara este resultado con la investigación DISEÑO DE MODELO PARA TECHOS VERDES EN DIRECCIÓN A LA COMPENSACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>), GENERADO POR LOS VEHÍCULOS PARTICULARES QUE VISITAN LA ZONA ROSA DE BOGOTÁ D.C que se realizó en la Facultad de Gestión Ambiental de Universidad Libre de Colombia, se ve una gran diferencia, esto debido a que en dicha investigación el alcance permite delimitar mejor la Zona y estudiar con base al flujo de transporte de esta, estimar el promedio de emisiones de dióxido de carbono, por la amplitud del espacio correspondiente a la ciudad de Quito, esto no es posible realizarlo bajo esta metodología.

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

Para el año 2025, las emisiones estimadas del parque automotor de Quito son de 8,3 Mt/año millones de toneladas al año, que corresponden al 68% de las emisiones totales en Quito estimadas a ese año.

Mediante la implementación de techos o azoteas verdes en las paradas del Sistema de Trolebús de la ciudad de Quito se calcula que se podrá capturar 187 (kg de CO<sub>2</sub>) diarios, lo que equivale a 68.500 (kg de CO<sub>2</sub>) al año, considerando las 34 paradas de una dirección y 10 paradas de doble dirección, mismas que poseen la infraestructura apropiada para implementar el techo verde.

Las especies seleccionadas para la implementación de los techos verdes son de la familia Sedum, tanto por su capacidad de absorción de CO<sub>2</sub>, como porque se adaptan con facilidad a cualquier suelo, no requieren de mayores cuidados de mantenimiento y riego.

El tipo de techo verde o Green Roof propuesto es el techo extensivo debido a sus características con requerimientos de mantenimiento muy bajos o nulos, con vegetación que se extiende o propaga en una superficie expuesta, usando un sistema multicapa.

Las especies seleccionadas con capaces de capturar diariamente 6.6 g de C por cada metro cuadrado plantado, contando con 7740 metros cuadrados que podrían ser usado, se llegaría a reducir el 8x10<sup>-4</sup>% de las emisiones generadas por el parque automotor de Quito al año, con un costo aproximado de \$ 42,40 por metro cuadrado.

En esta investigación con la implementación de los techos ecológicos en las paradas del Sistema Trolebús en el Distrito metropolitano de Quito se obtuvieron datos de fijación de CO<sub>2</sub> poco representativos sin embargo los techos ecológicos representan un gran aporte de beneficios ecosistémicos como por ejemplo proveen un hábitat y comida para fauna, flora y micro fauna silvestre, también realizan un balance energético en las edificaciones que contribuyen a la regulación térmica, esto ayudara a reducir el efecto de isla de calor urbano adicionalmente

ayudara a mejorar el confort térmico de las paradas y ayudan a mejorar la calidad de aire . Si se analiza a detalle en edificaciones residenciales no solo sería el confort térmico sino la reducción del consumo de energía eléctrica en sistemas de climatización, tanto de calefacción como de refrigeración (Seyedabadi et al., 2021).

### **Recomendaciones**

En el Ecuador, siguiendo el ejemplo de Colombia, México y otros países se recomienda evaluar la implementación de techos verdes en las azoteas de las grandes ciudades como un aporte a disminuir la contaminación que estas generan que son los causantes del calentamiento global.

Añadir un sistema de riego automático basado en una medición de la humedad, sería de gran ayuda para que no ocurra lo sucedido en años pasados y la falta de cuidado haga que estos queden en el olvido.

Es necesario se evalué el filtrado o drenaje de los techos de las paradas de Trolebús, para corroborar su estado pues como se pudo comprender en la investigación, las plantas seleccionadas no subsisten si existe demasiada humedad, ya que sus raíces tienden a pudrirse.

Es importante que el mantenimiento de estos techos o azoteas verdes cuando se plantee el proyecto sean tomados en cuenta dentro del Plan Operativo Anual de la EPMMOP, para que exista el ente responsable de esta actividad y los techos verdes no queden sin atención.

La implementación de espacios verdes en lugares en los cuales abundan en las ciudades como los techos o azoteas los cuales servirán como un reservorio de especies y aquí la importancia de implementar especies nativas de la región.

Realizar dos tratamientos uno manteniendo riego y otro evaluando tan solo con las lluvias generadas por el tiempo para de esta manera poder comparar si la eficiencia de ambas especies está cambiando en relación con un mantenimiento más constante y otra con un mantenimiento más prolongado.

Incentivar a las personas que instalen techos ecológicos en las edificaciones de edificios y hogares con beneficios económicos con respecto al pago de servicios básicos de electricidad, ya que ayudará a mantener la temperatura interna de las edificaciones, reduciendo el calor en el día y no permitiendo el paso del frío por la noche, de esta forma los techos verdes generan mayor beneficio que con la captura de CO<sub>2</sub>.

### Referencias Bibliográficas

- Blog Verdecora. (s. f.). *Plantas variegadas: qué son y cuáles sus cuidados*. Recuperado 21 de octubre de 2023, de <https://verdecora.es/blog/que-son-plantas-variegadas-caracteristicas>
- Caballero, A. (2023, junio 30). *Efecto invernadero: causas y consecuencias en el clima*. Climate Consulting - Selectra. <https://climate.selectra.com/es/que-es/efecto-invernadero#que-es-el-efecto-invernadero>
- Cambio Climático - Sumideros. (s. f.). *Gobierno de España*. Recuperado 17 de julio de 2023, de [https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/sumideros\\_tcm30-178384.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/sumideros_tcm30-178384.pdf)
- Carvajal, M., Mota, C., Alcaraz, C., Iglesias, M., & Martínez, M. C. (s. f.). *INVESTIGACIÓN SOBRE LA ABSORCIÓN DE CO<sub>2</sub> POR LOS CULTIVOS MÁS REPRESENTATIVOS*. Recuperado 17 de julio de 2023, de [http://www.lessco2.es/pdfs/noticias/ponencia\\_cisc\\_espanol.pdf](http://www.lessco2.es/pdfs/noticias/ponencia_cisc_espanol.pdf)
- Corredores del sistema*. (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2023, de [https://www.trolebus.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=95&Itemid=5](https://www.trolebus.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=95&Itemid=5)
- 77
- Datosmacro. (s. f.-a). Ecuador - Emisiones de CO<sub>2</sub> 2021. *Datosmacro.com*. Recuperado 17 de julio de 2023, de <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/ecuador>
- El Comercio. (2011, diciembre 2). *El escancel es una de las plantas más comunes*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/construir/escancel-de-plantas-mas-comunes.html>
- Facultad de Biología-Xalapa. (2016). Las plantas del futuro. *Diario Xalapa*, 1–1.
- FLACSO. (s. f.). *Quito ciudad, capital del Ecuador*. <http://www.quito.com.ec/guia/>
- GAD Pichincha. (2015). *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL GOBIERNO PROVINCIAL DE PICHINCHA*. <https://app.sni.gob.ec/sni->

[link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1760003330001\\_PD%20y%20OT%20GADPP%20final%20150815\\_17-08-2015\\_18-28-14.pdf](link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1760003330001_PD%20y%20OT%20GADPP%20final%20150815_17-08-2015_18-28-14.pdf)

Getter, K. L., Rowe, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M., & Andresen, J. A. (2009). Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental Science and Technology*, 43(19), 7564–7570. <https://doi.org/10.1021/ES901539X>

Infojardín. (s. f.). *Planta del cigarro, Flor del tabaco, Fosforito, Hipanto coloreado*. Recuperado 21 de octubre de 2023, de <https://fichas.infojardin.com/arbustos/cuphea-igneaplanta-del-cigarro-flor-tabaco.htm>

*Introducción a la fotosíntesis*. (2023). Khan Academy. <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/cellular-energetics/photosynthesis/a/intro-to-photosynthesis>

Jiménez-López, V., García-Gómez, C., & Bojórquez-Morales, G. (2013). *THERMAL MONITORING OF A GREEN ROOF MODEL IN WARM HUMID CLIMATE*. <https://docplayer.es/52176011-Monitoreo-termico-de-modulo-de-techo-verde-en-clima-calido-humedo-thermal-monitoring-of-a-green-roof-model-in-warm-humid-climate.html>

*Mesa Nacional de Aprovechamiento de Masa Residual - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2023, de <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/mesa-nacional-de-aprovechamiento-de-masa-residual/>

Ministerio de Energía y Minas. (2022). *Balance Energético Nacional 2022*. 160.

Municipio D.M. de Quito. (2017a, marzo 15). *Mapa del sistema integrado de transporte*. [https://www.trolebus.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=94&Itemid=575](https://www.trolebus.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=94&Itemid=575)

Naciones Unidas. (s. f.). *¿Qué es el cambio climático?* Acción por el Clima. Recuperado 17 de julio de 2023, de <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>

Naciones Unidas. (1992). *CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS*. <http://unfccc.int/cop4/sp/conv/convsp.html>

- Nuñez, C. (2023, febrero 28). *Gases de efecto invernadero: qué son y cuáles son sus efectos*. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/gases-efecto-invernadero-que-son-efectos>
- Puente, D. (2015a, mayo 14). Contaminación del aire de Quito se mantiene en niveles “deseables”. *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/contaminacion-quito-automoviles-niveles-deseables.html>
- Puente, D. (2015b, mayo 14). Contaminación del aire de Quito se mantiene en niveles “deseables”. *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/contaminacion-quito-automoviles-niveles-deseables.html>
- Rojas, C., & Edith, T. (2022). *Revisión Sistemática Aportes De Las Cubiertas Vegetadas (Techos Verdes) Como Alternativas De Solución Para Las Épocas De Calor* [Universidad César Vallejo de Perú]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/85950/Ccoyllo RTE-SD.pdf?sequence=1](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/85950/Ccoyllo_RTE-SD.pdf?sequence=1)
- Servicios Ambientales S.A. (2017). *Huella Fortalecimiento de la capacidad de gestión ambiental del Gobierno Municipal de Quito* (Corporación Andina de Fomento (ed.)).
- Seyedabadi, M. R., Eicker, U., & Karimi, S. (2021). Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint. *Environmental Challenges*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100119>
- Trolebús. (2017, mayo 8). *Paradas La Carolina se cierran para mejorar el servicio*. [https://www.trolebus.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=272:paradas-la-carolina-se-cierran-para-mejorar-el-servicio&catid=84&Itemid=599](https://www.trolebus.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=272:paradas-la-carolina-se-cierran-para-mejorar-el-servicio&catid=84&Itemid=599)
- Ultimas Noticias. (2011). *Quinceañera, una trepadora cubre muros*. <https://www.ultimasnoticias.ec/noticias/4654-quinceanera-una-trepadora-cubre-muros.html>
- Valdez, A. (2021). Duranta ¿cómo cultivarla y mantenerla? *Jardinería Ecológica para Principiantes*. <https://www.jardinerialimpia.com/duranta/>

Zielinski, S., García, M., & Vega, J. C. (2012). Techos verdes: ¿Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta *Revista gestión y Ambiente*, 15. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/41518/30820-111594-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>