



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

PROPUESTA DE UN JARDÍN VERTICAL A PARTIR DE DATOS
DE CALIDAD DEL AIRE

Autora

María Cristina Estrella Montúfar

Año
2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

PROPUESTA DE UN JARDÍN VERTICAL A PARTIR DE DATOS DE
CALIDAD DEL AIRE

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y
Remediación

Profesor Guía

Msc, Indira Fernandina Black Solís

Autora

María Cristina Estrella Montúfar

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Propuesta de un Jardín Vertical a partir de datos de Calidad del Aire, a través de reuniones periódicas con la estudiante María Cristina Estrella Montúfar, en el semestre 2018 - 2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Indira Fernandina Black Solís
Magister en Conservación y Gestión del Medio Natural
C.C. 1711273563

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado éste trabajo, Propuesta de un Jardín Vertical a partir de datos de Calidad del Aire, de la estudiante María Cristina Estrella Montúfar, en el semestre 2018 - 2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Marco Vinicio Briceño León
Master en Energías Renovables
C.C. 1715967319

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

María Cristina Estrella Montúfar

C.C. 1718836602

AGRADECIMIENTOS

Al Dios viviente por su eterno amor e infinita gracia y por el gozo de la salvación.

A mis amados padres por su amor incondicional, dedicación y sabiduría. A mi papi por su enseñanza de honorabilidad, a mi madre por su enseñanza de trabajo duro y honesto. A ambos por haber contribuido en mi formación humana por encima de la profesional.

A mi esposo con quien comparto la alegría de criar un ser etéreo y hermoso, quien estuvo apoyándome con amor al desarrollar este trabajo.

A mis maestros quienes a lo largo de estos años no solo entregaron conocimientos sino a sí mismos en cada sesión, especialmente a Indira Black y Raza Zalakeviciute con quienes tuve el arado de desarrollar este trabajo.

DEDICATORIA

A David mi ser perfecto quien cada día me recuerda que sin importar que pase la vida siempre puede volver a ser buena, quien pone una sonrisa en mi rostro y quien llena mi alma con su simple existencia.

A mis adorados padres quienes no dejaron que olvide que antes que la carrera esta la humanidad y el respeto a otros.

RESUMEN

El deterioro de la calidad del aire, se ha vuelto una constante preocupación a nivel mundial, múltiples organizaciones se han unido para hablar acerca de ella y cómo afecta la calidad de vida de aquellos quienes se desarrollan en ambientes cargados de contaminación. Este proyecto pretendió determinar la presencia de agentes extraños en el ambiente del paso que conecta la Sede Granados con la Sede Queri de la Universidad de las Américas, pues este paso es constantemente utilizado por estudiantes, docentes y visitantes. Como solución a este problema se propone la implementación de un jardín vertical, debido a que, en muchas ciudades del mundo, incluyendo la ciudad de Quito, se han implementado como alternativa eficiente para ayudar a la mejora de la calidad del aire e incentivar el desarrollo sostenible de las ciudades. Para poder diseñar este jardín se realizaron dos tipos de monitoreo de calidad de aire, uno indoor y otro outdoor; que mostraron como la calidad del aire de paso GQ (Granados – Queri) se ve constantemente afectada debido a la influencia del tráfico concurrido de la av. Granados y en mayor parte del material particulado proveniente de la actividad de corte de planchas de madera que se ejecuta en EDIMCA, misma que se encuentra aledaña a la Sede Queri. Su mayor área de influencia se encuentra en el alrededor del bloque 8 perteneciente a la misma, donde tuvo lugar, tanto dentro como fuera, los monitoreos. Este proyecto también se enfocó en la determinación de una ecuación para la corrección de los datos obtenidos con el equipo Microdust pro, debido a la alta humedad relativa existente en la ciudad de Quito, sobre todo en época invernal donde la medición del equipo puede verse afectada por la alta presencia de vapor de agua en el ambiente. Habiendo utilizado dos equipos para la determinación de la calidad de aire, se pudo llegar a la conclusión de que el PM 2.5 es el contaminante con mayor influencia dentro del paso por lo cual, mediante revisión bibliográfica e investigación primaria se determinó el tipo de jardín, las especies idóneas y el tipo de riego que conforman el jardín vertical. El diseño se realizó tomando en cuenta la normativa colombiana y finalmente se realizaron el análisis de costos de implementación.

ABSTRACT

Air quality deterioration has become a constantly discussed concern worldwide, multiple organizations have come together to talk about it and how it affects the quality of life of those who develop their normal activities in environments full with pollution. This project aimed to determine the presence of strange agents in the environment of the tunnel that connects Campus Granados with Campus Queri from Universidad de las Americas, because this place is constantly used by students, teachers and visitors. As a solution to this problem, the implementation of a vertical garden is proposed, because in many cities of the world, including the city of Quito, they have been implemented as an efficient alternative to help improve air quality and encourage development sustainable of cities. In order to design this garden, two types of air quality monitoring were carried out, indoor and outdoor; they showed how the air quality of GQ tunnel (Granados - Queri) is constantly affected due to the influence of the busy traffic of Granados avenue and most of the particulate matter generated from the activity of cutting wood plates that is executed in EDIMCA, which is located next to Campus Queri. The largest area of influence is located around block 8, building which belongs to the Campus, where the monitoring took place, both inside and outside. This project also focused on the determination of an equation for the correction of the data obtained with the Microdust Pro, due to the high relative humidity existing in the city of Quito, especially in winter time where the measurement of the equipment may be affected due to the high presence of water vapor in the environment. This project employ two types of equipment to determine air quality, one measures multiple gases and the other one particulate matter, by the development of the investigation it was possible to reach the conclusion that the PM 2.5 is the pollutant with the greatest influence in the tunnel, which is why, through bibliographic review and primary investigation that was determined the type of garden, the ideal plant species and the irrigation system, these components make up the vertical garden. The design was made taking in consideration Colombian regulations and finally the analysis of implementation costs was carried out.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Alcance	3
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
2. Marco Teórico	5
2.1 Calidad de Aire	5
2.1.1 Calidad de Aire Indoor y Outdoor	7
2.2 Contaminantes del Aire.....	8
2.3 Efectos sobre la salud	11
2.4 Desarrollo Urbano Sostenible.....	13
2.5 Jardines Verticales.....	15
2.6 Tipos de Jardines Verticales.....	16
3. Metodología.....	20
3.1 Área de Estudio	21
3.2 Determinación de los Puntos de Muestreo	21
3.2.1 Monitoreo Indoor.....	21
3.2.2 Monitoreo Outdoor.....	22
3.3 Selección de Parámetros	23

3.4 Monitoreo Indoor	24
3.4.1 Estudio Piloto para determinar la extensión del monitoreo	24
3.4.2 Área de Estudio	27
3.4.3 Determinación del tiempo de muestro	29
3.4.4 Procedimiento general	29
3.5 Monitoreo Outdoor	29
3.5.1 Área de interés y levantamiento de datos	29
3.5.2 Determinación del Tiempo de Monitoreo	30
3.5.3 Procedimiento general	30
3.6 Validación de datos del equipo Microdust Pro	31
3.6.1 Procedimiento de la validación	32
3.6.2 CEL – 712 Microdust Pro	32
3.6.3 Equipo de Monitoreo de la estación Belisario (Instrumento Thermo Scientific/ FH62C14)	32
3.6.4 Ubicación de la estación meteorológica Belisario	33
3.7 Procesamiento de Datos y Software	34
3.8 Diseño del Jardín Vertical	34
3.8.1 Selección del Tipo de Plantas	35
3.8.2 Determinación del Sustrato	39
3.8.3 Dimensionamiento del Jardín	40
3.8.4 Determinación del Sistema de Riego	40
4.Resultados y Discusión	41
4.1 Datos Levantados	41
4.2 Validación	43
4.3 Calidad de Aire	48

4.4 Beneficios de la implantación de un jardín vertical en la Sede Queri.....	53
4.5 Jardín Vertical	54
4.5.1 Selección del Tipo de Jardín Ideal.....	55
4.5.2 Selección de Especies.....	56
4.5.3 Selección del medio.....	58
4.5.4 Selección del sistema de riego	59
4.5.5 Prototipo Instalado.....	59
4.6 Proyección de Costos	60
4.7 Plano del Jardín.....	63
5.Conclusiones y Recomendaciones	67
5.1 Conclusiones.....	67
5.2 Recomendaciones	68
REFERENCIAS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Desarrollo de la metodología propuesta.....	20
Figura 2. Área de Estudio, Adaptado de Google Earth.(2018)	21
Figura 3. Distribución de los Puntos de Muestreo principales Adaptado de Google Earth (2018).....	23
Figura 4. Ubicación y descripción de la estación Belisario de la Secretaria de Ambiente Adaptado de Google Maps.(2018)	34
Figura 5. Datos levantados durante el monitoreo indoor sin ventilación	41
Figura 6. Datos levantados durante el monitoreo indoor con ventilación	41
Figura 7. Datos levantados durante el monitoreo Outdoor	42
Figura 8. Datos históricos obtenidos de la Secretaría de Ambiente acerca de la humedad relativa del mes de marzo	43
Figura 9. Datos históricos obtenidos de la Secretaría de Ambiente acerca de la humedad Relativa del mes de abril	43
Figura 10. Comparación de los datos obtenidos con el equipo de la Secretaría de Ambiente y el de la Udla.....	45
Figura 11. Dispersión de los datos de los equipos y recta de la cual se obtuvo la ecuación para la corrección de datos.....	46
Figura 12. Grafica de comparación de los datos corregidos de los equipos y desviación estándar	47
Figura 13. Comparación de la Concentración de PM 2,5 - Monitoreo Indoor... ..	48
Figura 14. Monitoreo Outdoor - Día Completo	49
Figura 15. Comparación de las concentraciones Indoor vs. Outdoor	50
Figura 16. Muestreo Alternado Indoor vs. Outdoor	51
Figura 17. Concentración de PM 2.5 en los puntos de monitoreo del Paso Granados – Queri (G – Q)	52
Figura 18. Bosquejo de una sección del espacio disponible, cuadros azules representan las bolsas de fieltro.....	55
Figura 19. Distribución y representación por colores de los individuos escogidos.	56
Figura 20. Prototipo del jardín vertical	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción del tipo de jardines verticales y sus respectivas ventajas y desventajas.	17
Tabla 2. Condiciones meteorológicas del día 20 de marzo de 2018	24
Tabla 3. Condiciones meteorológicas del día 21 de marzo de 2018	25
Tabla 4. Condiciones meteorológicas del día 11 de abril de 2018	25
Tabla 5. Horas de los monitoreos.....	26
Tabla 6. Condiciones meteorológicas del día 13 de abril de 2018	26
Tabla 7. Descripción de actividades para la visita inicial sitio de interés	26
Tabla 8. Actividades para la selección de áreas de estudio	27
Tabla 9. Criterios para designar espacios del Edificio como Área de Estudio	28
Tabla 10. Consideraciones para un área idónea.....	28
Tabla 11. Descripción de actividades para la visita inicial sitio de interés.....	30
Tabla 12. Horario desinado para el monitoreo Outdoor	31
Tabla 13. Condiciones meteorológicas del día 27 de marzo de 2018	31
Tabla 14. Especies Nativas Recomendadas por la Normativa Colombiana....	36
Tabla 15. Especies Comúnmente utilizadas en Jardines Verticales	38
Tabla 16. Datos de PM 2.5 en ug/m3 obtenidos con los equipos Microdust Pro (UDLA) y Thermo Scientific/ FH62C14 (Secretaría de Ambiente) del 11 de abril de 2018.....	44
Tabla 17. Datos corregidos mediante la aplicación de la ecuación obtenida con el proceso de correlación y horas a las cuales pertenecen.	47
Tabla 18. Esta tabla muestra el nombre común de la planta, su costo de mercado y el número de individuos por metro cuadrado.....	57
Tabla 19. Rubro de colocación de plantas por m2	60
Tabla 20. Rubro de colocación de sistema de riego por goteo.....	61
Tabla 21. Rubro de colocación de estructura para soporte	61
Tabla 22. Tabla resumen del análisis de costos y total del proyecto.....	62

1. Introducción

1.1 Antecedentes

La contaminación atmosférica es una de las problemáticas principales a nivel mundial, el decrecimiento de la calidad de aire tanto en ambientes interiores como exteriores provoca serias afectaciones a la salud de adultos y niños en general. La presencia de industrias dentro de la ciudad y la contaminación proveniente del tráfico vehicular contribuyen directamente al decrecimiento de la calidad de aire de la ciudad de Quito. En análisis realizados acerca de uno de los factores que más contribuyen a la baja calidad de aire en Quito, es decir la contaminación urbana proveniente del tráfico vehicular, se determinó que existen factores que hacen especialmente vulnerable a la ciudad de Quito uno de ellos es su altitud; en promedio Quito está situada a 2800 metros sobre el nivel del mar lo que deriva en que el aire de Quito tengan naturalmente menos oxígeno, lo cual conspira contra la eficiencia de la combustión haciendo que los equipos que queman combustibles fósiles, como generadores o motores de vehículos consuman mayor cantidad de combustible y por tanto generen mayor cantidad de contaminantes (Páez, 2010). A mayores altitudes los vehículos a gasolina con carburador, emiten hasta 40% más monóxido de carbono y hasta 20% más hidrocarburos (EPA, 2006). Otro factor notable es la topografía de la zona en la que se asienta la ciudad de Quito; presenta la forma de una cuenca que tiene en las elevaciones del ramal occidental de la cordillera de Los Andes, cuenta con la presencia del Guagua y el Rucu Pichincha, volcanes que crean una especie de barrera natural que limita la libre circulación del viento y por consecuencia limita la capacidad de dispersar los contaminantes, también cabe mencionar que la ubicación ecuatorial hace que casi todo el año existan altos niveles de luminosidad, que favorecen la ocurrencia de las reacciones fotoquímicas, es decir que favorecen la ocurrencia de transformaciones de contaminantes sensibles a la luz solar (Páez, 2010). La Secretaría de Ambiente en su informe acerca de la Calidad de Aire en el DMQ presentó en el mes de Mayo de 2017 con respecto a las concentraciones de material particulado sigue excediendo la Norma Ecuatoriana de Calidad en comparación a los años anteriores, respecto a los objetivos de Calidad de Aire propuestos por la OMS en

2005 indica que actualmente la ciudad de Quito se encuentra cumpliendo el objetivo Intermedio 2; este menciona que el riesgo de mortalidad a largo plazo es del 9% mayor ya que no se cumplen las guías de calidad establecidas (OMS, 2005), el 100% de la población urbana se encuentra expuesta a valores de PM2.5 sobre la norma (Secretaría de Ambiente, 2017).

El lugar de estudio es la Universidad de las Américas conocida como UDLA cuyo funcionamiento comenzó en el año de 1994 en su primera sede ubicada en la Av. Colón de la ciudad de Quito; en la actualidad cuenta con un total de 4 Sedes las otras 3 sedes se encuentran ubicadas en la parroquia de Nayón, Av. Granados y la calle José Queri única en la que se desarrolló el presente estudio.

La contaminación atmosférica es un creciente problema a nivel global, en muchos países el índice de mortalidad aumenta debido a enfermedades cardíacas o pulmonares derivadas de la contaminación ambiental (OMS, 2016). La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EE. UU. Cita la mala calidad del aire interior como una de las cinco principales preocupaciones de salud pública, con un impacto económico estimado en más de \$ 10 mil millones por año, en países como Canadá se llevan más de 20 años de estudio acerca de las posibles afectaciones en el rendimiento de las personas en sus trabajos o actividades diarias a causa de la mala calidad del aire (Prescod, 2011). La OMS estima que de alrededor de 3 millones de muertes anuales ocurren a causa de la contaminación ambiental pero lo más alarmante resulta ser que un 88% de esas defunciones prematuras se producen en países de ingresos bajos y medianos, y las mayores tasas de morbilidad se registran en las regiones del Pacífico Occidental y Asia Sudoriental de la OMS, es decir que si llevamos eso al contexto ecuatoriano nuestra realidad es que cada día existe un número creciente de personas que contrae enfermedades gracias a la contaminación ambiental a la que se ve expuesta todos los días. Las estadísticas de la pasada década en Ecuador mostraba que las enfermedades crónicas, entre ellas enfermedades cardiovasculares y respiratorias, son la principal causa de muerte en el país aún muy por encima de accidentes, agresiones o enfermedades como

la diabetes que también estaban entre las principales causas (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2011). Es por todo lo expuesto que el presente proyecto se presentó como una propuesta para solucionar esta realidad, aplicándola al Campus Queri donde pretende ser una propuesta que fomenta el desarrollo urbano sustentable y que mejora la calidad de vida de todas las personas que forman la comunidad Udla, es decir alrededor de 3000 estudiantes y 60 profesores, para cumplir sus actividades diarias, y que utilizan el paso GQ (Granados - Queri) el cual se encuentra en el área periférica de la Sede Queri y está constantemente expuesta a contaminación proveniente de diferentes puntos como el tráfico vehicular proveniente de la avenida Granados y la fábrica EDIMCA.

1.2 Alcance

Este proyecto determinó la calidad de aire en el paso que conecta la Sede Granados con la Sede Queri y propone el diseño de un jardín vertical como solución para mejorarla; también mejorará la calidad de aire del subsuelo y planta baja del bloque 8, zona de interés debido a su proximidad al área de fumadores y que es el bloque más cercano a EDIMCA, donde se realiza el corte de planchas de madera, y la Av. Granados donde el flujo vehicular es el principal aporte de contaminantes. Además, determinó la ecuación para el factor de corrección que requirieron los datos registrados con el Microdust PRO de la Carrera de Ingeniería Ambiental, debido a que la humedad relativa de la época de estudio estuvo por encima al 50%.

1.3 Justificación

La calidad de aire es un tema cada vez más evaluado a nivel mundial, desde los gobiernos sectoriales de cada país hasta organismos internacionales o convenciones como el COP que buscan soluciones para el problema de la contaminación atmosférica como sus objetivos de desarrollo. La alteración de la calidad de aire es uno de los principales indicadores de cambio climático y sus consecuencias tienen cada vez mayor impacto en la salud, en 2014, el 92% de la población vivía en lugares donde no se respetaban las Directrices de la OMS

sobre la calidad del aire. Según estimaciones de 2012, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 3 millones de defunciones prematuras (OMS, 2016).

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo de las Ciudades en su objetivo No. 11 destaca que más de la mitad de la población mundial vive hoy en zonas urbanas. En 2050, esa cifra habrá aumentado a 6.500 millones de personas, es decir dos tercios de la humanidad. Estas cifras muestran que no es posible lograr un desarrollo sostenible sin transformar radicalmente la forma en que construimos y administramos los espacios urbanos (NNUU, 2015). Ante esto cada vez es más frecuente la búsqueda de soluciones que se ajusten a la realidad de las ciudades. Proyectos para recuperación de áreas verdes se ha puesto en marcha, entre ellos ha destacado la inclusión de techos verdes o jardines verticales como herramientas de recuperación de espacios verdes, que vayan de la mano con el desarrollo de las ciudades y que no solamente proporcionen confort visual, sino que tienen la capacidad de mejorar la calidad del aire, regular temperaturas y brindar mejoras en el estilo de vida.

La Universidad de las Américas ha tomado la iniciativa de ser parte del fomento del desarrollo urbano sostenible poniéndose como objetivo mejorar el paso que conecta dos de sus Sedes con la implementación de un jardín vertical ya que este no solamente proporciona una notable mejora visual para los estudiantes, docentes y visitantes que diariamente utilizan el mismo como entrada o salida de la Sede Queri, sino que también tiene la capacidad de mejorar la calidad de aire a la que están expuestos al utilizar este espacio ya que al transitar por este paso se ven expuestos a la contaminación atmosférica existente que proviene del flujo de tránsito vehicular de la Av. Granados y de las empresas existentes que realizan actividades alrededor del Campus.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Implementar un prototipo de Jardín Vertical con el fin de mejorar la calidad de aire interior y exterior en la Sede Queri

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar el monitoreo de aire en el bloque 8 y el paso que conecta la Sede Queri con la Sede Granados
- Realizar la validación de los datos registrados con el Microdust con los datos obtenidos en la Estación de Monitoreo Belisario de la Secretaría de Ambiente
- Realizar el diseño y construcción del prototipo de jardín vertical para el paso que conecta la Sede Queri con la Sede Granados

2. Marco Teórico

2.1 Calidad de Aire

La atmósfera, también denominada “aire ambiente” se define según la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire (NECA) como mezcla gaseosa cuya composición normal es, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y nueve por ciento (79%) nitrógeno y uno por ciento (1%) de dióxido de carbono, además de proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica (MAE, 2011). La atmósfera se divide en varias capas según la altura a la que se encuentren, entre ellas se encuentra la tropósfera, la cual es la capa más cercana a la superficie de la tierra y que tiene una altura promedio de 12 km; en ella se desarrolla la vida y además se producen los fenómenos meteorológicos, por ende, los principales procesos de transformación dispersión de contaminantes (Midgley, Reuther, & Williams, 2013). En ella se pueden encontrar todo tipo de contaminantes primarios y secundarios, gases de efecto invernadero, y material particulado, los cuales en la actualidad han llegado a constituirse como un problema a escala mundial debido a que por su capacidad de utilizar al viento como medio de transporte y afectar distintas zonas, aunque se encuentren lejos del punto donde se produjo la contaminación inicial.

Otros efectos a gran escala pueden ser el aumento de la turbidez del aire, con lo que disminuye la visibilidad y la radiación solar y como consecuencia de ello se altera el ritmo biológico de crecimiento de las plantas y se producen cambios de temperatura (González, 2015).

La contaminación atmosférica puede ser de origen antrópico o natural. Sin embargo, la mayor problemática se centra en la contaminación antropogénica,

proveniente de las diversas actividades realizadas por el ser humano. La emisión a la atmósfera de gases cargados de partículas constituye uno de los principales problemas de contaminación atmosférica causados por el hombre. Se estima que un 10% de la masa total de contaminantes emitidos a la atmósfera son partículas producidas por las industrias, centrales térmicas de combustibles fósiles, incineración de residuos, vehículos a motor, etc. (González, 2015), aunque también cabe mencionar que existen fuentes naturales que contribuyen a la existencia de contaminantes a la atmósfera, pudiendo mencionar a los volcanes como principales representantes de los contaminantes atmosféricos de origen natural.

Debido al empobrecimiento progresivo de la atmósfera, es decir por el aumento de contaminantes en esta, nació el concepto de Calidad de Aire, la misma que se define como: las características del aire de una zona o espacio determinado y su aptitud para causar efectos positivos o negativos en la vida de los seres vivos que se desarrollan dentro de un espacio geográfico determinado; es decir que es capaz de afectar el correcto funcionamiento de las plantas, puede ocasionar efectos sobre la salud de animales y también del ser humano.

La calidad de aire es una herramienta útil para medir el grado de contaminación existente en un área, por lo cual al apoyarse en ella antes de regulación nacional o internacional pueden crear normas para su regulación y mejoramiento; puede también apoyar a sistemas de salud para mejorar ampliamente la calidad de vida de grupos humanos, esto debido a que al darle atención a la calidad de aire que respiran se están previniendo enfermedades crónicas pulmonares o cardíacas. Gracias a esto existen organizaciones como OMS la cual establece claramente que cada país debe considerar normas de calidad de aire que protejan la salud pública de los ciudadanos, acorde a la realidad social, técnica y económica de cada país. Los gobiernos, al fijar sus objetivos políticos, deben realizar un estudio cuidadoso de las condiciones locales propias, antes de adoptar las guías directamente como normas con validez jurídica. (Secretaría de Ambiente, 2016).

2.1.1 Calidad de Aire Indoor y Outdoor

La calidad de aire puede clasificarse en calidad de aire Indoor, es decir la calidad del aire existente en ambientes interiores, y en calidad de aire Outdoor, que hace referencia al aire existente en el medio ambiente de una zona o área específica. Para ambos tipos de calidad se han realizado diversos estudios y se han realizado índices de calidad con la finalidad de evitar posibles afectaciones a la salud debido a niveles altos de contaminantes en estos ambientes. La contaminación existente tiene la capacidad de afectar al ambiente exterior pero también a ambientes interiores, incluso los ambientes interiores que podrían ser considerados seguros pueden verse más afectados por la contaminación, es decir que pueden encontrarse niveles más altos de contaminación, debido a la falta de ventilación de estos ambientes, sin contar con las fuentes de contaminación que existen dentro de los ambientes interiores.

La contaminación de los ambientes interiores de los edificios es la causa de múltiples problemas de salud de variada naturaleza, que pueden abarcar desde una simple fatiga o molestia, hasta síntomas compatibles con alergias, infecciones y cáncer, entre otras (Morales, Acevedo, & Nieto, 2010). Los contaminantes que se encuentran en el aire interior de los edificios independientemente de su composición, es decir ya sean estos químicos, físicos o biológicos pueden variar en función de las actividades que se desarrollan en dichos espacios, por ejemplo dentro del hogar artículos tales como calentadores de queroseno y gas sin ventilación, chimeneas y hornos con fuga, y estufas de gas también liberan CO y pueden afectar la calidad del aire en el interior (EPA, 2017), otro factor es el estado sanitario de los ocupantes, la infraestructura física del edificio y sus bienes materiales y la calidad del aire del entorno. (Morales et al., 2010). Considerando que la mayor parte de la población gasta entre un 75 y un 90% de su tiempo en interiores, pudiendo alcanzar hasta el 100% en los grupos más vulnerables como ancianos, enfermos y lactante, incluso se pueden considerar a amas de casa o personas como estudiantes o docentes, quienes emplean la mayor parte de su tiempo en ambientes interiores, es indudable que la calidad del aire en interiores es un problema que tiene un alto impacto y profundidad en la población en general (Adonis, Caceres, Gil, & Quiñones, 1997).

Por otra parte, al hablar de calidad de aire Outdoor, debemos remitirnos directamente al estado de la calidad atmosférica de la zona de interés y analizar las concentraciones de los diferentes elementos que se encuentren en él, se consideran como contaminantes cuando estos son ajenos al ambiente o se encuentran en niveles mayores a los deseados o especificados por la norma de cada zona de acuerdo a la jurisdicción vigente.

La calidad de aire Outdoor a diferencia de la calidad de aire Indoor no solo afecta al ser humano, sino que tiene incidencia sobre los demás organismos como plantas y animales que comparten el medio con el hombre; la contaminación exterior no permanece estática, sino que a través de las corrientes de vientos pueden desplazarse largas distancias, por lo cual muchas veces la contaminación local puede provenir de fuentes lejanas y que aunque se encuentren en concentraciones a las de la emisión inicial pueden de todas formas tener efectos sobre la salud dependiendo de su composición y el tiempo de exposición. Uno de los principales aportes para la pobre calidad de aire exterior en una zona urbana son los vehículos a motor que funcionan con combustibles fósiles, también se toman en cuenta a las industrias y a las fuentes naturales como los volcanes que suponen fuentes de contaminación natural.

2.2 Contaminantes del Aire

Contaminantes Primarios: Son aquellos que son emitidos directamente al ambiente por una fuente contaminante, es decir que no han sufrido reacciones previas que puedan cambiar su composición o naturaleza, pueden ser contaminantes como el ácido nítrico gaseoso y dióxido de azufre o partículas primarias que se emiten directamente a la atmósfera, como el hollín (Brook, et al., 2004).

Contaminantes Secundarios: Son aquellos que se forman a partir de la reacción de contaminantes primarios entre sí o con otros componentes presentes en la atmósfera, lo que da lugar a nuevos componentes de diferentes características y algunas veces con acción sinérgica, por ejemplo existen

partículas secundarias que se crean mediante la transformación fisicoquímica de gases, como la formación de nitratos y sulfatos a partir de ácido nítrico gaseoso y dióxido de azufre (SO₂), respectivamente (Brook, et al., 2004).

El monóxido de carbono

Es un gas incoloro e inodoro que puede ser dañino cuando se inhala en grandes cantidades (EPA, 2017). Se produce cuando los combustibles que contienen carbono se queman en condiciones donde el oxígeno es limitado. Los motores de gasolina son la principal fuente de monóxido de carbono. Es extremadamente peligroso debido a que, las personas expuestas lo inhalan sin percibirlo, no obstante, en ambientes interiores puede estar acompañado de otros productos con olores característicos (Morales, et al., 2010).

Dióxido de Carbono: Dependiendo de la literatura puede o no considerarse como un contaminante atmosférico debido a que su mayor fuente de producción son las fuentes naturales como la respiración de los seres vivos y volcanes, sin embargo, también se produce por actividades antrópicas como resultado de la combustión de combustibles fósiles, incluso la Environmental Protection Agency (EPA), no considera al CO₂ dentro del listado de contaminantes de aire. La principal preocupación ambiental con el dióxido de carbono es el papel que desempeña este compuesto como un gas de efecto invernadero que influye en el cambio climático (Morales, et al., 2010). Para efectos de esta tesis no se considerará al CO₂ como un contaminante de interés debido a que la concentración que puede existir en el ambiente no podría causar efectos en la salud de los usuarios constantes del paso GQ.

Material Particulado: Denominado como PM, también llamada contaminación por partículas es el término para una mezcla de partículas sólidas y gotitas líquidas que se encuentran en el aire (EPA, 2017). Puede clasificarse según el tamaño de partícula en PM₁₀ o PM_{2.5}. Para efectos de esta investigación nos centraremos en PM_{2.5} debido a que es aquel que por su tamaño produce mayores efectos adversos en la salud.

- **PM 2.5 como contaminante principal dentro de las ciudades y ambientes interiores:** Durante los procesos de combustión a altas temperaturas, los elementos metálicos y sus óxidos se volatilizan. Los elementos de alta volatilidad como cadmio, cromo, níquel, plomo, talio y zinc, se concentran y condensan en partículas de pequeño tamaño. La concentración de estos pequeños elementos en las cenizas volátiles aumenta al disminuir el tamaño de partícula y cuanto menor sea su tamaño menor tiempo residirá en la atmósfera, pudiéndose también transportar grandes distancias (Briz, 2004). El riesgo que presenta la contaminación por partículas se debe a varios factores, como por ejemplo, la alta capacidad de penetración en el sistema respiratorio lo que trae consigo graves afecciones a la salud; en cuanto a la enfoque ambiental también debemos mencionar el comportamiento sinérgico de algunas partículas, que aumentan los efectos tóxicos de otros contaminantes y la alta reactividad que suelen presentar, la cual da lugar a la generación de contaminantes secundarios (González, 2015). Mientras tanto el PM2.5 en ambientes interiores se encuentra presente en ambientes interiores procedentes fundamentalmente de aparatos de combustión y del humo del tabaco. También pueden tener un origen biológico como polen, esporas, bacterias y hongos (Morales, et al., 2010).

Dióxido de Azufre: El SO₂ es el componente cuya presencia causa mayor preocupación debido a que se utiliza como indicador del grupo más grande de óxidos de azufre gaseoso (SO_x) (EPA, 2017). La fuente primaria de óxidos de azufre es la quema de combustibles fósiles que contienen azufre, ya que reacciona con el oxígeno originando dióxido de azufre. La existencia de partículas produce un efecto sinérgico en presencia de dióxido de azufre, ya que la combinación de estas dos sustancias produce un efecto mayor que el de cada sustancia por sí sola (Morales, Acevedo, & Nieto, 2010). En concentraciones altas, el SO_x gaseoso puede dañar árboles y plantas al dañar el follaje y disminuir el crecimiento, mientras que el SO₂ contribuye a la lluvia ácida (EPA, 2017).

Dióxido de Nitrógeno: El dióxido de nitrógeno (NO₂) es uno de un grupo de gases altamente reactivos conocidos como óxidos de nitrógeno u óxidos de nitrógeno (NO_x), entre ellos se encuentran el ácido nitroso y ácido nítrico (EPA, 2017). El óxido nítrico reacciona con el oxígeno o el ozono presente en la atmósfera lo que da lugar a la formación de NO₂, cuando el dióxido de azufre y este se mezclan, generan un efecto sinérgico aumentando el daño a niveles superiores que los producidos por la suma de los efectos individuales de ambos. Los procesos de combustión emiten una mezcla de óxido nítrico (90%) y dióxido de nitrógeno (10%) (EPA, 2017). La mayoría de las investigaciones toxicológicas y epidemiológicas se han centrado en el NO₂, debido a que el NO₂ es uno de los contaminantes atmosféricos regulados para los que existen normas disponibles en todo el mundo; el NO del escape de los vehículos y las plantas de energía se convierte en gran medida a NO₂; y NO₂ juega un papel principal en la formación de la troposfera ozono (O₃).

Componentes orgánicos volátiles: se emiten como gases de ciertos sólidos o líquidos e incluyen una variedad de productos químicos, los cuales pueden tener efectos adversos a la salud a corto y largo plazo. Las concentraciones de COVs son hasta diez veces más altas más altas en el interior que en el exterior (EPA, 2017).

Eliminación de contaminantes atmosféricos: La transferencia de contaminantes desde la atmosfera hasta la superficie del suelo o la vegetación se expresa como la velocidad de flujo (absorción de contaminante) o peso de contaminante eliminado para un área determinada por unidad de tiempo (Briz, 2004).

2.3 Efectos sobre la salud

Se estima que la contaminación atmosférica es responsable del aumento en el número de personas afectadas por conjuntivitis, laringitis, asma y bronquitis crónica en las ciudades. Incluso, a largo plazo, puede observarse un aumento de enfisema y cáncer (Adonis, Caceres, Gil, & Quiñones, 1997). A continuación,

se mencionarán algunos de los contaminantes más comunes en ambientes interiores y exteriores.

Efectos del CO: Respirar aire con una alta concentración de CO reduce la cantidad de oxígeno que se puede transportar en el torrente sanguíneo a órganos críticos como el corazón y el cerebro (EPA, 2017) La afectación principal es la asfixia, ya que el CO impide la correcta oxigenación de la sangre; cuando el proceso ocurre de manera natural el aire es aspirado por los pulmones hasta los alveolos donde el oxígeno del aire se combina con la hemoglobina de la sangre y da lugar a la oxihemoglobina la cual es responsable del transporte de oxígeno a los tejidos. Cuando existe presencia de CO, el cual tiene 250 veces más afinidad con la hemoglobina que el oxígeno, se da lugar a la formación de carboxihemoglobina, esto lleva a que no exista oxigenación de la sangre que circula por los tejidos. Si en la sangre más del 50% de la hemoglobina se encuentra en forma de carboxihemoglobina se puede producir la muerte (Morales, et al., 2010).

Efectos del CO₂: En concentraciones muy elevadas conduce a la asfixia por desplazamiento del oxígeno. Una excesiva exposición, es decir concentraciones superiores a 30.000 ppm, puede afectar al cerebro y causar dolores de cabeza, déficit de concentración, mareos y problemas respiratorios. Sin embargo, a las concentraciones a las que se encuentra habitualmente tanto en el ambiente exterior, entre 300 a 400 ppm, como en el ambiente interior, entre de 600 ppm a > 2000 ppm no resulta tóxico (Morales, et al., 2010).

Efectos del PM_{2.5}: La exposición a tales partículas puede afectar los pulmones y corazón, numerosos estudios científicos han relacionado la exposición a la contaminación por partículas con una variedad de problemas, incluyendo: muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, ataques cardíacos no mortales, latidos cardíacos irregulares, asma, disminución de la función pulmonar, aumento de los síntomas respiratorios, como irritación de las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar (EPA, 2017). Estos contaminantes están asociados con una mayor hospitalización y mortalidad

debido a enfermedades cardiovasculares, especialmente en personas con insuficiencia cardíaca congestiva, arritmias frecuentes o ambas. La asociación establecida entre el tabaquismo activo y pasivo con enfermedad cardíaca y accidente cerebrovascular apoyan la veracidad de los efectos adverso del PM en el sistema cardiovascular (Brook, et al., 2004).

Efectos del SO_x: Las exposiciones a corto plazo al SO₂ pueden dañar el sistema respiratorio humano y dificultar la respiración (EPA, 2017); provoca la irritación de mucosas sobre todo ojos, nariz y garganta y es causante de enfermedades respiratorias como bronco constricción y bronquitis (Morales, Acevedo, & Nieto, 2010).

Efectos del NO_x: son irritantes del tracto respiratorio superior y de los ojos. En exposiciones prolongadas puede producir edema pulmonar (Morales, Acevedo, & Nieto, 2010). Las exposiciones más prolongadas a concentraciones elevadas de NO₂ pueden contribuir al desarrollo del asma y aumentar potencialmente la susceptibilidad a las infecciones respiratorias (EPA, 2017).

2.4 Desarrollo Urbano Sostenible

El desarrollo del ser humano a lo largo de la historia ha sido un detonante para la generación de impactos ambientales de grande y mediana escala alrededor del mundo, comenzando con la revolución industrial, conocida como le primer gran impacto ambiental, hasta la época moderna, el desarrollo de las actividades humanas y de la tecnología han tenido cada vez mayor incidencia en las dinámicas poblacionales y en cómo se desarrollan las ciudades. Fue en los años setenta que la conciencia por el impacto de las actividades humanas creció con fuerza y rápidamente, junto con una creciente demanda de bienes y servicios ambientales ligada al aumento demográfico, el alza en los niveles de vida y el número de personas que viven en pobreza extrema (CEPAL, 2003).

A nivel mundial las ciudades se han desarrollado gracias a la modernización y el creciente uso de la tecnología, lo cual ha derivado en movimientos demográficos cada vez mayores; la población existente en zonas rurales ha optado por

moverse a las zonas urbanas, esto ha traído como impacto la creciente demanda de viviendas, centros de comercio y entretenimiento, escuelas y hospitales, es decir infraestructura necesaria para el desarrollo de poblaciones dentro de las ciudades, las cuales provocan el cambio de uso del suelo, es decir que lugares donde previamente existían bosques u otro tipo de ecosistemas han sido reemplazados con construcciones, calles, carreteras u otro tipo de construcción, cambiando no solamente el paisaje sino también el normal funcionamiento de ecosistemas o simplemente extinguiéndolos de manera radical. El reemplazo de superficies vegetales con superficies pavimentadas e impermeables en las áreas urbanas ha aumentado la temperatura en comparación con las áreas rurales, debido a que estas superficies absorben, retienen y re-irradian más energía solar que la vegetación. La temperatura ambiente en el área urbana puede ser hasta 6 ° C más alta que el aire en las áreas rurales (Jain & Janakiram, 2016).

Entendiendo esta situación podemos apreciar el porqué del crecimiento del paisajismo urbano, se ha desarrollado como tendencia para cambiar la dinámica de las ciudades en relación a como se ven y cómo interactúan con los espacios verdes, junto con la necesidad de generar espacios que no solo provean bienestar de manera visual para los habitantes, sino que sean ecológicamente amigables y que principalmente tengan la capacidad de contribuir a la mejora de las condiciones ambientales. Después de una larga y alarmante lista de parámetros de calidad afectados en ciudades de todo el planeta, ha comenzado el reto de las ciudades por volverse sostenibles, una Ciudad Sostenible debe permitir a sus habitantes lograr una adecuada calidad de vida a través de acciones ecológicamente sostenibles (Briz, 2004), es decir más limpias, con mejor calidad de aire, espacios verdes y energéticamente eficientes sin dejar de lado las actividades diarias y necesarias de la población buscando no afectar el desarrollo de las futuras generaciones que la ocupen.

Para lograr el objetivo de las ciudades sostenibles se han propuesto varias ideas que se enmarcan en el uso eficiente de recursos como en el caso de la eficiencia energética, el ajardinamiento de fachadas, techos o paredes, el reciclaje, la transformación del sistema de transporte masivo, el cambio en vehículos que

funcionan con combustibles fósiles a eléctricos entre otras soluciones que pretenden mejorar el desarrollo de las ciudades teniendo en cuenta causar el menor impacto al ambiente. Las paredes vivas son particularmente adecuadas para las ciudades, ya que permiten un buen uso de las áreas verticales disponibles, la integración de la vegetación en los edificios a través del ajardinamiento vertical que permite una mejora significativa en la eficiencia de la construcción, la ecología y los beneficios ambientales, es decir que una pared verde tendrá un impacto significativo en la ganancia de calor y la pérdida de un edificio, así como la humedad, la calidad del aire y el ahorro de energía (Jain & Janakiram, 2016) lo cual las hace el mejor representante de lo que significa hacer sostenible a una ciudad mejorando las condiciones de vida de sus habitantes.

2.5 Jardines Verticales

Los jardines verticales también se conocen como paredes verdes, paredes vivas o paredes biológicas, pueden ser independientes o parte de un edificio que está parcial o completamente cubierto de vegetación, tienen la capacidad de aumentar la captura de carbono y una mejor adaptación al cambio climático. (Jain & Janakiram, 2016). Los Jardines verticales no son sistemas modernos, se conocen desde el 600 DC en Babilonia y después pasaron de en distintas formas por varias culturas y a través del tiempo, hasta que en el 2006 se desarrolló el sistema de muros vegetales o Green Walls, por el botánico francés Patrick Blanc, quien después de años de estudio acerca del sotobosque desarrolló un sistema hidropónico y luego lo patentó, este sistema está basado en la capacidad de muchas plantas de desarrollar un crecimiento epifito, creciendo sobre la superficie de las rocas, otras plantas, u otros objetos (Fernández, Pérez, Quevedo, Pérez, & Franco, 2008).

Incluir fachadas verdes en los edificios urbanos utilizando plantas trepadoras modifica las interacciones del sistema de construcción con la atmósfera circundante (Bruse, Thönnessen, & Radtke, 2004). La magnitud de la influencia de las superficies cubiertas de las plantas depende de varios parámetros, como el porcentaje de cobertura, densidad y ancho del follaje de la planta que cubre

las superficies de construcción, etc. (Jain & Janakiram, 2016), la luz juega un papel crítico, en la actividad fisiológica de las hojas y en la apertura de las estomas. En condiciones adecuadas de humedad, si los estomas están abiertos al máximo, la toma de contaminantes por las plantas es elevadísima. Sin embargo, el estrés hídrico, al limitar la apertura, puede restringir la absorción (Briz, 2004).

Los jardines verticales pueden producir un impacto ambiental positivo dentro de las ciudades debido a que permiten crear un entorno similar a entornos naturales, de igual manera tienen un efecto de aislamiento térmico en invierno y en verano reducen la temperatura ambiente a través de procesos de sombra y de evapotranspiración; las hojas, las raíces y microorganismos asociados a ellas tienen la capacidad de limpiar el aire al capturar de contaminantes atmosféricos (Navarro, 2013).

Indudablemente al ser sistemas integrados por seres vivos también pueden verse afectados debido a los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre las plantas, dependiendo del grado de apertura de los estomas, es decir el componente de las hojas que permiten regular el intercambio gaseoso, los efectos de los contaminantes pueden ser de mayor o menor grado; estos interaccionan con los estomas donde las partículas pueden obturarlos, dificultando la plena actividad foliar; las partículas insolubles de pequeño tamaño pueden formar costras sobre el haz de las hojas impidiendo intercambios gaseosos, fotosíntesis etc. (Briz, 2004).

2.6 Tipos de Jardines Verticales

Los jardines verticales son estructuras altamente versátiles por lo cual pueden ser ubicados en espacios disponibles amplios o medianos, tanto en ambientes interiores como en ambientes exteriores, por tanto, poseen una clasificación de acuerdo a los sistemas que se utilizan para la instalación y funcionamiento de estos sistemas.

Tabla 1.

Descripción del tipo de jardines verticales y sus respectivas ventajas y desventajas.

Tipos de Jardines Verticales	
<p>Sistema de Paneles: Son paneles pre-plantados que se llevan al sitio y se conectan al sistema estructural (Loh, 2008). Los paneles vegetales se conciben como módulos de 60 x 60 cm, componen la fachada de modo que fácilmente pueda ser desmontable a través de una sencilla estructura metálica de anclaje; las especies vegetales utilizadas requieren elementos de soporte es decir que en su interior debe contener nutrientes por lo cual se emplea sustrato y una cobertura geotextil que permita el paso del agua y que a su vez evite la pérdida del mismo (Navarro, 2013).</p>	<p>Ventajas: se pueden utilizar plantas ya desarrolladas por lo que se pueden sustituir plantas muertas, son los más apropiados para instalaciones temporales debido a que pueden ser fácilmente desmontables, reemplazables y móviles (Navarro, 2013).</p>
	<p>Desventajas: La implementación lleva consigo un alto costo, además estos sistemas pueden llegar a pesar 150 kg/m², por lo que se debe tener en cuenta la fachada a tratar, sólo se pueden utilizar plantas de pequeño tamaño y arbustivo debido al espacio disponible para las raíces (Navarro, 2013).</p>
<p>Sistema de cables trenzados: Las plantas cultivadas en contenedores trepan a los enrejados (Loh, 2008). Se basa en la utilización de cables y varillas de acero inoxidable y piezas accesorias, que sirven de apoyo a plantas trepadoras (Navarro, 2013).</p>	<p>Ventajas: El costo de implementación es bajo en comparación a otros sistemas, los cables y los accesorios al estar realizados en acero inoxidable y tienen una larga vida útil lo cual es ideal ya que son resistentes a la intemperie. Es un sistema fácil de instalar y montar, se adapta a las medidas necesarias para la instalación en el sitio determinado. Es de bajo peso, flexible</p>

	<p>y ajustable en lo que respecta a las diferentes especies de plantas (Navarro, 2013).</p>
	<p>Desventajas: Las podas deben ser periódicas, la mayor desventaja es el tiempo de desarrollo de las plantas debido a que necesitan un elevado número de años para la conseguir la cobertura total de la fachada (Navarro, 2013) .</p>
<p>Sistema de fieltro: Las plantas se colocan en bolsillos de fieltro los cuales contienen un medio de cultivo y se unen a un soporte impermeable que luego se conecta a la estructura; el fieltro se mantiene continuamente húmedo con agua que contiene nutrientes vegetales (Loh, 2008).</p>	<p>Ventajas: Son sistemas ligeros y móviles, de fácil instalación y que se adaptan con facilidad a espacios disponibles, son de bajo costo en comparación a otros sistemas, no requieren de personal especializado para su instalación, las plantas pueden ser fácilmente reemplazadas en caso de muerte. Este sistema es beneficioso porque debido a que cada sección puede recrearse y la construcción de la pared lleva muy poco tiempo. (Curtis & Stuart, 2010).</p>
	<p>Desventajas: Requiere de sustrato para el desarrollo de las plantas por lo cual este debe ser reemplazado cada cierto tiempo para que las plantas puedan seguir desarrollándose, lo que aumenta el peso del jardín.</p>

<p>Sistemas hidropónicos: cultivo hidropónico el cual se elimina la tierra de las plantas ya que estas son alimentadas mediante fertilizantes incluidos dentro del riego. Este tipo de sistemas consiste la instalación de láminas donde se propicia el crecimiento vegetal y un sistema de riego con agua totalmente automatizado y con capacidad de recirculación de agua. Sobre todo, este conjunto se realizará la plantación de especies acorde al lugar y climatología local. Se introducen abono y fertilizante al agua de riego.</p>	<p>Ventajas: Son sistemas ligeros, aproximadamente el peso por metro cuadrado terminado de jardín vertical es de 30Kg/m², se constituye por plantas independientes cada una de ellas ubicadas en una especie de bolsitas creadas en el fieltro lo cual permite la sustitución individual de cada una, se puede evitar la aparición de insectos mediante la inclusión de productos naturales que evitan la aparición de los mismos en el sistema de riego escogido (Navarro, 2013).</p> <p>Desventajas: Requiere una cuidadosa instalación por parte de personal calificado, este tipo de sistemas tienen un alto coste de implantación debido a su alta complejidad, que necesitan equipos de riego, depósitos, equipos de osmosis bombas de impulsión, etc., requieren de mucho mantenimiento, se necesita monitorizar los niveles del pH y la conductividad para que permanezcan equilibrio, si se produce un fallo eléctrico el sistema de goteo deja de funcionar puede afectar la vida de las plantas (Navarro, 2013).</p>
---	--

3. Metodología

La metodología de trabajo comprendió 2 etapas, la primera implicó la determinación de la calidad del aire, e incluye la validación de los datos obtenidos; y la segunda que correspondió al análisis y selección de las mejores alternativas (sustrato, especies, tipo de riego y tipo de jardín vertical) previo el diseño (Briz, 2004).

Para la determinación de la calidad de aire; se realizaron 2 registros, un monitoreo Indoor que se realizó en el subsuelo del bloque 8 de la Sede Queri, con el propósito de conocer la calidad el aire; y un monitoreo Outdoor el cual se realizó en el paso que conecta las Sedes Granados y Queri de la Universidad de las Américas, con la finalidad de saber la concentración de contaminantes existentes en diferentes puntos de este camino.

El esquema propuesto es el siguiente:

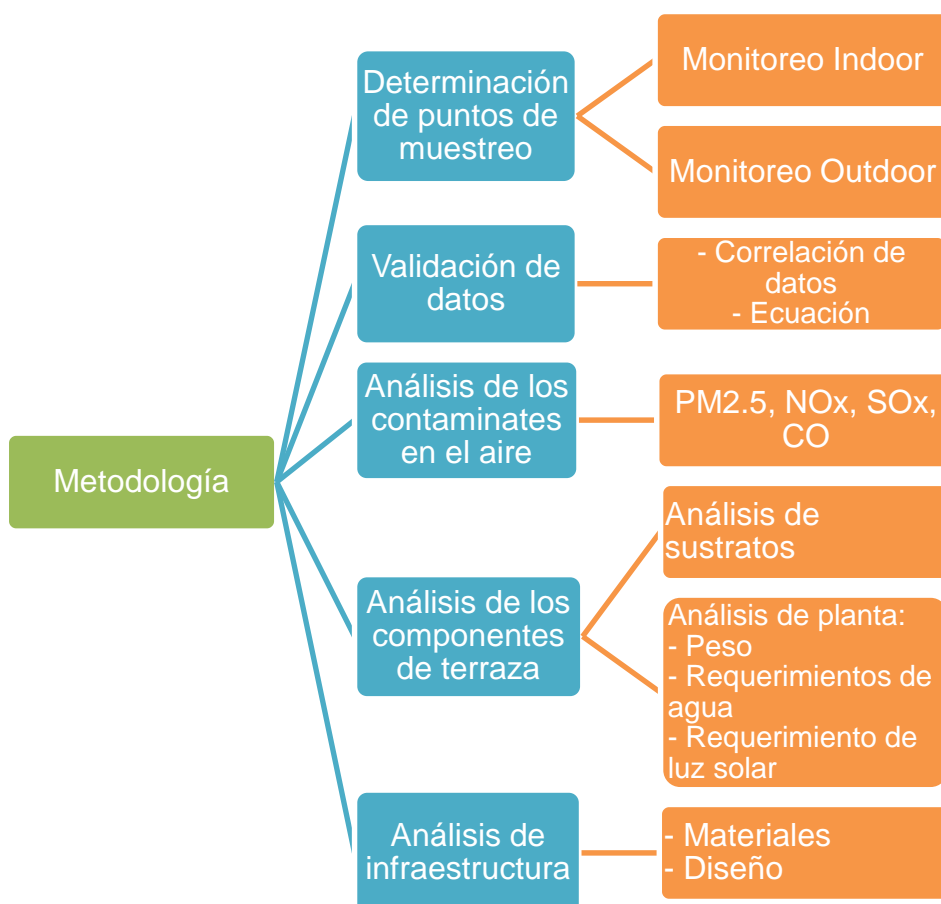


Figura 1. Desarrollo de la metodología propuesta

3.1 Área de Estudio

El presente estudio se realizó en el paso que conecta la Sede Granados con la Sede Queri y en aula 802 ubicada en el subsuelo del bloque 8 del Campus Queri de la Universidad de las Américas, la cual se encuentra ubicada al norte de la Ciudad de Quito, parroquia del El Batán.

La ciudad de Quito se encuentra a 2800msnm, su temperatura varía desde los 7°C hasta los 24°C con una temperatura media del aire de 14,9°C. Tiene una precipitación acumulada anual de 1126,7 milímetros y una humedad relativa promedio que varía entre el 67 y 80% (INAMHI, 2016).

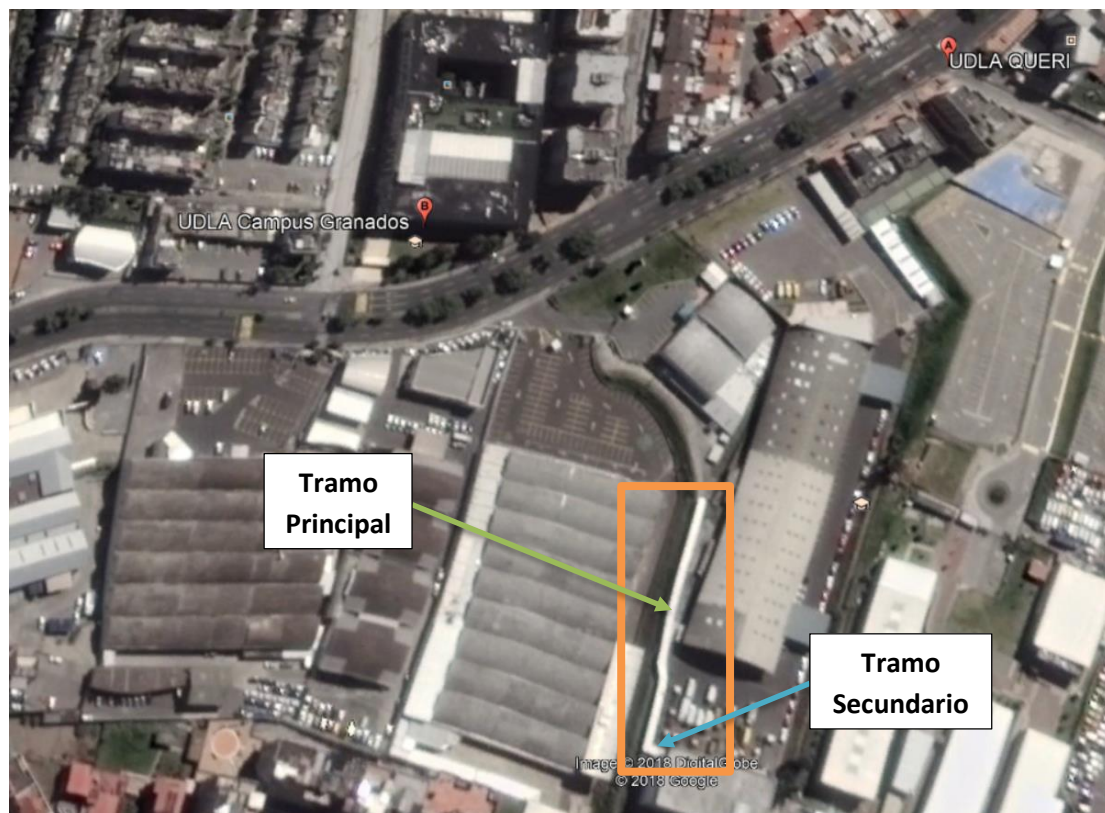


Figura 2. Área de Estudio,
Adaptado de Google Earth.(2018)

3.2 Determinación de los Puntos de Muestreo

3.2.1 Monitoreo Indoor

Para determinar el punto de monitoreo donde se colocó el equipo de medición siguiendo los siguientes pasos:

- Se tomó en cuenta la cercanía al área de fumadores y a EDIMCA para seleccionar el lugar ideal para el monitoreo.
- Se ubicó el aparato de medición en un lugar seguro y donde existían corrientes de aire provenientes de ventanas.
- Se tomó en cuenta que el punto seleccionado este a por lo menos a 0,5 m de paredes, esquinas, o ventanas (EPA, 2003) y a altura de 1.5 metros.

3.2.2 Monitoreo Outdoor

Para los puntos de monitoreo Outdoor se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Se tomaron muestras cada 10m del paso, es decir que se colocaron 9 puntos principales numerados en orden ascendente del 1 – 9, cuyas mediciones se tomaron en el recorrido de ida, mientras que, en los puntos intermedios, es decir los ubicados entre los puntos principales se muestrearon en el recorrido de regreso, es decir que se tomaron muestras a 5m de los puntos principales.
- Finalmente se contabilizaron un total de 18 puntos a lo largo de 97 metros en su tramo principal, es decir el tramo norte – sur, sin contemplar el tramo secundario del paso que se ubica en dirección este – oeste, y que mide 30 metros en total; se dividió de esta manera con la finalidad de abarcar la totalidad del paso y evitar la variabilidad atmosférica que podría existir durante el cambio de las horas del día.



Figura 3. Distribución de los Puntos de Muestreo principales
Adaptado de Google Earth (2018).

- La sonda de medición se colocó a una altura de 1.50m del suelo.

3.3 Selección de Parámetros

En 2010, para investigar más a fondo la calidad de aire interior en las escuelas, se llevó a cabo el proyecto SINPHONIE, que comprendió la cooperación de 36 instituciones de salud y medio ambiente de 25 países, y evaluó varios parámetros de calidad de aire en más de 100 escuelas europeas, los resultados condujeron a la creación de un conjunto de normas para el desarrollo de entornos saludables dentro de las escuelas europeas.

Fruto de este estudio se seleccionaron los siguientes parámetros para el análisis de la calidad de aire compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC), finos y partículas gruesas (PM_{2.5} y PM₁₀, respectivamente), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), temperatura y humedad relativa, compuestos nitrogenados y de azufre (NO_x y (SO_x) (Cavaleiro, Joana Madureirac, Teixeira, Moreira, & de Oliveira, 2016); (European Commission, 2014), mismos que se aplicaron como parámetros de interés durante el desarrollo de esta investigación.

3.4 Monitoreo Indoor

3.4.1 Estudio Piloto para determinar la extensión del monitoreo

Con la finalidad de determinar la extensión del monitoreo requerido para el diseño del Jardín Vertical se realizó un estudio piloto con el fin de determinar el impacto de la contaminación proveniente del exterior en las áreas aledañas al paso GQ. Este estudio se realizó a lo largo de 4 días y para ello se determinó una duración de 8 horas continuas para la medición debido a que esta es la jornada de trabajo de 1 día y además se tomó en cuenta que el tiempo máximo de ocupación de un docente o estudiante un aula en particular en promedio es de 2 horas continuas.

A continuación, se detalla el monitoreo realizado a lo largo de 4 días y sus particularidades.

- **Día 1:** Se identificó un área con ventanas que colindarán con el paso GQ, para ello se seleccionó el aula 802 del bloque 8 de la Sede Queri. Se decidió mantener el área designada con las ventanas cerradas durante las 8 horas que duró el monitoreo y se evaluó la calidad del aire sin que exista entrada de aire del exterior. El monitoreo correspondiente al día 1 se realizó el día martes 20 de marzo de 2018 entre 8:00 y 16:00, realizando un cambio de baterías a la 13:00 horas con 10 minutos.

Tabla 2.

Condiciones meteorológicas del día 20 de marzo de 2018

Fecha	Temperatura T°	Precipitación [mm/día]	Humedad Relativa %	Velocidad del Viento [m/s]
20-mar-18	14.5	0	76.70	1.01

- **Día 2:** Se realizó en la misma área seleccionada previamente para el monitoreo sin ventilación, pero esta vez se realizó con las ventanas abiertas. Este monitoreo se realizó el día miércoles 21 de marzo de 2018 entre 8:00 y 16:00, de igual manera se realizó un segundo monitoreo con el equipo de gases múltiples.

Tabla 3.

Condiciones meteorológicas del día 21 de marzo de 2018

Fecha	Temperatura T°	Precipitación [mm/día]	Humedad Relativa %	Velocidad del Viento [m/s]
21-mar-18	15.1	1.9	69.50	1.30

- Día 3:** Se identificó un área ubicada al exterior del edificio con la finalidad de obtener datos locales de la calidad del aire, con los que posteriormente se procedería a realizar una comparación de los días anteriores y realizar posteriormente la validación de los datos obtenidos. Este monitoreo se realizó en el Campus Queri, en un área de interés ubicada cerca al aula seleccionada para el monitoreo Indoor, este se realizó en su quinto intento el día miércoles 11 de abril de 2018 entre 8:00 y 16:00. Los otros intentos resultaron fallidos debido a la exposición directa del equipo con luz solar, lo que provoco errores de lectura, mientras que otra causa fue la existencia de precipitaciones recurrentes debido a la estación invernal.

Tabla 4.

Condiciones meteorológicas del día 11 de abril de 2018

Fecha	Temperatura T°	Precipitación [mm/día]	Humedad Relativa %	Velocidad del Viento [m/s]
11-abr-18	12.5	4.5	74.80	2.10

- Día 4:** Este día se realizó un monitoreo de 12 horas en el cual se obtuvieron datos tanto de la calidad de aire Indoor y Outdoor, durante este proceso el equipo tomó datos durante 1 hora en cada punto de monitoreo, es decir en el punto Indoor y Outdoor, para de esta manera poder comparar la diferencia en los niveles de contaminación encontrados y de esta manera poder determinar la influencia la contaminación. Este proceso se realizó el día 13 de abril de 2018 entre 8:00 y 20:00 horas.

Tabla 5.

Horas de los monitoreos

Monitoreo Indoor		Monitoreo Outdoor	
Inicio	Fin	Inicio	Fin
8:00	9:00	9:00	10:00
10:00	11:00	11:00	12:00
12:00	13:00	13:00	14:00
14:00	15:00	15:00	16:00
16:00	17:00	17:00	18:00
18:00	19:00	19:00	20:00

Tabla 6.

Condiciones meteorológicas del día 13 de abril de 2018

Fecha	Temperatura T°	Precipitación [mm/día]	Humedad Relativa %	Velocidad del Viento [m/s]
13-abr-18	13.6	0	65.00	1.40

Esta área se seleccionó siguiendo el Protocolo Estandarizado de la EPA para caracterización de calidad de aire interior en edificios realizando los siguientes pasos con la finalidad de verificar de idoneidad del edificio y área seleccionada, es decir identificar áreas potenciales de monitoreo, seleccionar áreas de estudio y recolectar información que será utilizada para determinar los puntos de monitoreo tomando en cuenta las área de estudio (EPA, 2003).

Tabla 7.

Descripción de actividades para la visita inicial sitio de interés

Actividades para la Visita inicial	
1	Informar a los encargados del Bloque y a sus ocupantes
2	Recolectar información de potenciales áreas de estudio
3	Identificar las potenciales áreas de estudio

1. Se informó a docentes y personal de seguridad acerca del procedimiento efectuado durante el monitoreo, y el cronograma de actividades. También se obtuvo información relevante como el número de personas y de horas de utilización del área seleccionada.
2. Se recolectó información de potenciales áreas de estudio. Para esto se realizó una visita a las aulas del subsuelo del edificio, en el cual se pudo estimar el número de ocupantes, entendiéndose como docentes y estudiantes revisando los informativos de las salas disponibles a la entrada de las mismas, personal administrativo entre otros que diariamente realizan sus actividades en cada piso; se identificó el área de mayor y menor ocupación; identificar áreas de ocupación especial, entendiéndose como bibliotecas, salas de reuniones cubículos, entre otros, por piso; finalmente deberá identificar sistemas de ventilación y aire acondicionado de existir. (EPA, 2003).
3. Con la información recolectada identificaron potenciales áreas de estudio durante el recorrido y se realizó un croquis de las mismas.

3.4.2 Área de Estudio

La tabla a continuación muestra los criterios para la designación de espacios como áreas de estudio:

Tabla 8.

Actividades para la selección de áreas de estudio

Actividades básicas para la selección de áreas de estudio en el edificio	
1	Identificar las probables de áreas de estudio
2	Identificar las potenciales áreas de estudio

1. Se identificaron las probables áreas utilizando la información recolectada mediante le croquis realizado demás información para realizar una posterior selección áreas de interés.

2. El área potencial de estudio se seleccionó tomando en cuenta criterios seleccionados a preferencia (EPA, 2003). Se tomaron en cuenta áreas que se consideraron necesarias de preferencia, Para ayudar a determinar áreas potenciales se tomarán en cuenta los siguientes criterios:

Tabla 9.

Criterios para designar espacios del Edificio como Área de Estudio

Criterios para designar espacios del edificio como área de estudio		
Característica	Criterio	
	Necesario	Preferido
Número de ocupantes	25 ocupantes o 20 horas de uso semanal	50 a 60 ocupantes o un número superior a 20 horas de uso
Suministro de Aire	Entregado por no más de 2 unidades de mano (ventanas)	Entregado por no más de 1 unidad de mano (ventanas)
Área de Estudio	-	No exceder los 20m ² *

Nota: El área de estudio puede excederse siempre y cuando se encuentre sustentado

Habiendo realizado todos los pasos anteriores los cuales fueron descritos por el Protocolo Estandarizado de la EPA para caracterización de calidad de aire interior en edificios, se designó al aula 802 como idónea para el estudio piloto.

Tabla 10.

Consideraciones para un área idónea

Consideraciones para un área idónea	
Número de ocupantes	> 25 ocupantes
Hora de Uso Semanal	20 horas/semana
Suministro de aire	4 unidades de mano
Área de estudio	> 20m ² *

Nota: El área seleccionada excedía el tamaño debido a que por su ubicación cercana al paso GQ y al área de fumadores la hacía el lugar idóneo para el estudio piloto por tanto se decidió obviar el tamaño del área sugerido por la EPA.

3.4.3 Determinación del tiempo de muestro

El Monitoreo se realizó en el punto determinado a lo largo de 4 días de funcionamiento normal, a lo largo de 8 horas, desde las 8:00 hasta las 16:00.

3.4.4 Procedimiento general

Durante el monitoreo el Equipo Microdust Pro funcionó durante 8 horas seguidas en las cuales se tomaron datos cada 10 segundos con la ayuda de una bomba succionando aire con un caudal de 3.5 L/min. Se utilizaron baterías recargables que fueron en reemplazadas en promedio cada 5 horas, cabe mencionar que al realizarse el cambio de las baterías se perdían de 2 a 5 minutos en promedio de toma de datos.

También se utilizó el equipo de detección de Gases Múltiples por el mismo periodo de tiempo el cual era cargado la noche anterior; para obtener los datos de este equipo debido a la falta de un software o memoria interna que ayudara a la retención de los datos se procedió a tomar los datos de manera manual cada 10 minutos.

3.5 Monitoreo Outdoor

3.5.1 Área de interés y levantamiento de datos

El objetivo fue identificar los puntos de monitoreo, seleccionar áreas de estudio y levantar información que utilizada para determinar los mismos tomando en cuenta las áreas de interés.

Las actividades a realizarse para la recolección de información se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 11.

Descripción de actividades para la visita inicial sitio de interés

Actividades para la visita inicial	
1	Tomar las medidas del paso GQ
2	Recolección de datos concernientes a la construcción
3	Identificar las potenciales áreas de estudio

1. Se tomaron las medidas del área de interés, es decir del ancho, largo y altura del área.
2. Se recolectó información inherente a la construcción de este espacio, como materiales y condiciones actuales, también se necesario enlistó las características específicas que puedan existir, como el sistema de iluminación, materiales etc.
3. Con la Información recolectada se identificaron los puntos de monitoreo, donde más tarde se colocó el equipo para el muestreo.

3.5.2 Determinación del Tiempo de Monitoreo

Con la finalidad de evitar las variaciones climáticas durante la medición se limitó el tiempo a 5 minutos por punto o intermedio.

3.5.3 Procedimiento general

Se dividió el monitoreo en 4 partes, 2 partes se realizaron en la mañana y 2 restantes en la tarde. Cada parte tuvo 2 fases de 2 horas de duración, iniciando por el punto 1 a las 8:00 am hasta finalizar con el punto 9, luego se realizó el recorrido de regreso tomando los datos desde el punto 8.5 hasta el 1.5. Al terminar cada fase se realizó un descanso de 1 hora y se retomó el muestreo. Este monitoreo se llevó a cabo el día martes 27 de marzo de 2018 durante el intervalo de tiempo de 8:00 a 19:00 horas.

Tabla 12.

Horario desinado para el monitoreo Outdoor

Monitoreo outdoor en el paso GQ		
Mañana		
8:00	9:00	Monitoreo Puntos 1 - 9
9:00	10:00	Monitoreo Puntos 1.5 - 8.5
10:00	11:00	Descanso
11:00	12:00	Monitoreo Puntos 1 - 9
12:00	13:00	Monitoreo Puntos 1.5 - 8.5
Tarde		
14:00	15:00	Monitoreo Puntos 1 - 9
15:00	16:00	Monitoreo Puntos 1.5 - 8.5
16:00	17:00	Descanso
17:00	18:00	Monitoreo Puntos 1 - 9
18:00	19:00	Monitoreo Puntos 1.5 - 8.5

Tabla 13.

Condiciones meteorológicas del día 27 de marzo de 2018

Fecha	Temperatura T°	Precipitación [mm/día]	Humedad Relativa %	Velocidad del Viento [m/s]
27-mar-17	13.6	1	71.90	1.30

3.6 Validación de datos del equipo Microdust Pro

Con la finalidad de demostrar la fiabilidad del monitoreo, fue necesario validar los datos obtenidos con el equipo Microdust Pro, para ello se analizó la correlación obtenida a partir de los datos de la estación Belisario, la cual posee un equipo de medición de PM 2.5 que ha sido previamente validado por organismos internacionales.

3.6.1 Procedimiento de la validación

Para proceder con la validación se descargaron los datos obtenidos con el equipo Thermo Scientific/ FH62C14 de la Secretaría de Ambiente, después se procedió a realizar la comparación de los datos obtenidos con el equipo Microdust Pro y realizar el respectivo ajuste de los datos obtenidos durante el monitoreo con el equipo el cual se realizó en el punto de monitoreo seleccionado en el Campus Queri, durante 8 horas (8:00 – 16:00). Para la realización del análisis de correlación se compararon los datos de ambos equipos, en parámetros de PM 2.5 de ambos equipos a las mismas horas muestreadas, en el caso del Microdust Pro se realizó el cálculo del promedio horario debido a que el equipo se había configurado inicialmente para tomar datos cada 10s segundos y posteriormente se compararon con los datos horarios del equipo de la Secretaría de Ambiente.

La validación se realizó utilizando los datos obtenidos el día 11 de abril con el Microdust y descargando los datos disponibles en la página WEB de la Secretaría de Ambiente correspondientes a la misma fecha.

3.6.2 CEL – 712 Microdust Pro

El Microdust Pro es un instrumento ideal de inspección para evaluar la concentración de partículas en tiempo real en mg/m^3 . Este instrumento utiliza el principio demostrado de dispersión frontal de luz para tomar medidas exactas y repetibles de la concentración de polvo, utiliza una fuente de luz láser modulada que entra en una cámara de medición, no es como los métodos gravimétricos tradicionales para medir el polvo que requieren un período significativo de muestreo y no son aptos para la evaluación en tiempo real de tendencias en niveles de concentración. Dispone de grupos de pantallas que le permiten configurar y operar el instrumento, así como ver los resultados de las mediciones realizadas por el instrumento (CASELLA, 2017)

3.6.3 Equipo de Monitoreo de la estación Belisario (Instrumento Thermo Scientific/ FH62C14)

Es un monitor de masa de partículas radiométricas el cual es capaz de proporcionar mediciones en tiempo real. Se basa en los principios de atenuación

beta para medir concentraciones de aerosoles ambientales precisas, mide la concentración de masa del ambiente de PM10, PM2.5 y aerosol PM1.0. El monitor FH62C14 incorpora un sistema de calentamiento dinámico, el cual está diseñado para mantener la humedad relativa del aire que pasa a través de la cinta de filtro de la etapa radiométrica, muy por debajo del punto en el que las partículas recolectadas se acumulan y retienen agua líquida. Este sistema minimiza el aumento de la temperatura interna, asegurando de esa manera una pérdida mínima de partículas semivolátiles de la muestra recolectada, este sistema de calefacción tiene como propósito obligar al monitor de masa continuo a aceptar el método de referencia gravimétrica y las condiciones de humedad relativa a las que están condicionadas las muestras del filtro de referencia (Thermo FisherScientific INC., 2007).

3.6.4 Ubicación de la estación meteorológica Belisario

La Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito, REMMAQ, está constituida por cinco subsistemas complementarios que permiten generar información respecto al comportamiento de los contaminantes medidos y de la meteorología local, la ubicación de todas las estaciones atiende las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA) (CORPAIRE, 2009); la información disponible se encuentra validada desde el año 2004, pero inicio su funcionamiento a mediados del año 2003.

La estación utilizada para la validación del equipo utilizado se realizó en la estación Belisario, la cual pertenece a la Red Automática de Calidad de Aire (RAUTO), opera de manera permanente y continua las 24 horas del día, todos los días del año, generando promedios cada diez minutos (CORPAIRE, 2009). La siguiente figura tomada de la página de la Secretaría de Ambiente muestra los datos de la estación:

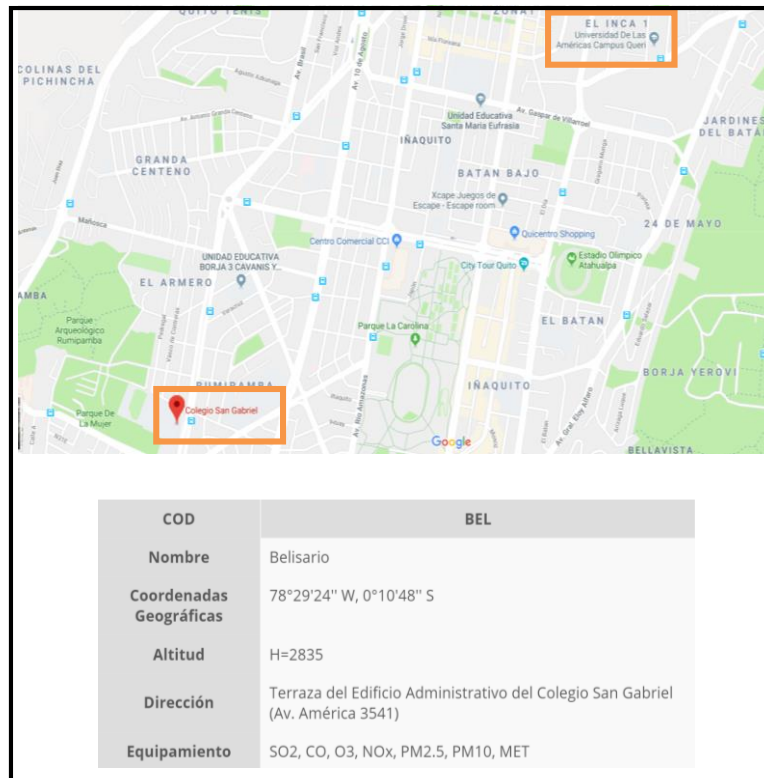


Figura 4. Ubicación y descripción de la estación Belisario de la Secretaria de Ambiente

Adaptado de Google Maps.(2018)

3.7 Procesamiento de Datos y Software

Los datos obtenidos a partir del monitoreo fueron enviados a una computadora portátil a través de la utilización del software CASELLA Insight, el cual es el software recomendado por los creadores del aparato Microdust Pro, después se utilizó el software Seria Port Writer Reader el cual fue necesario para obtener los datos en formato texto y posteriormente poder procesarlos en Microsoft Excel.

3.8 Diseño del Jardín Vertical

Es necesario tomar en consideración varios factores al momento de generar la propuesta para el de un jardín vertical, debido a la alta complejidad del sistema y al no ser un tipo de filtración de aire convencional, es decir en el cual están involucrados medios tecnológicos o mecánicos como el caso de sistemas filtradores de aire para que se instalan para mejorar la calidad del aire en

edificios, estos sistemas involucran la participación de seres vivos como agentes encargados de la mejora de la calidad en el medio exterior. Gracias a sus distintas capacidades intervienen de manera natural y que a su vez contribuyen al manejo sustentable de las ciudades ayudando a la recuperación de espacios naturales dentro de centros urbanos donde se desarrollan múltiples actividades. Los factores a analizar se encuentran descritos en los siguientes apartados. Para el diseño del jardín se investigó acerca de normativa vigente en Ecuador acerca de la construcción de espacios de este tipo o similares, al no existir una nos remitimos a la normativa colombiana **Resolución 6619 de 2011 Secretaría Distrital de Ambiente** perteneciente a la alcaldía de Bogotá.

Se tomaron en cuenta parámetros como:



- Luz solar
- Espacio disponible en el túnel – tipo de jardín
- Capacidad de retención de contaminantes – especies seleccionadas
- Capacidad de dotación de agua – sistema de riego
- Beneficios económicos – proyección de costos
- Instalación y mantenimiento

3.8.1 Selección del Tipo de Plantas

Para determinar el tipo de plantas que deben ser utilizadas para la implementación del diseño propuesto, se tomó en cuenta los resultados del monitoreo de calidad de aire con la finalidad de utilizar algunas de las características de las plantas para ayudar a la mejora de la calidad del aire. Sin embargo, existen otros factores importantes a considerar al momento de elegir las plantas que se utilizaran para el proyecto, estos factores son: el lugar donde se desarrollarán los individuos, el clima, la exposición a la luz y al viento, y los regímenes de mantenimiento (Curtis & Stuart, 2010). Para ello se utilizarán diferentes guías donde se muestran las características y requerimientos de plantas que se usan para la implementación de Jardines verticales, cuya resistencia ya ha sido probada con anterioridad. Para la selección de algunas especies fue necesario remitirse nuevamente a la norma colombiana donde existe un listado de plantas recomendadas de origen nativo.

Tabla 14.

Especies Nativas Recomendadas por la Normativa Colombiana

Tabla de Especies Nativas Recomendadas por la Normativa Colombiana	
1. <i>Bomarea hirsute</i> :	
	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Nativa – Costa Rica a Ecuador - Familia: Alstroemeriaceae - Género: <i>Bomarea</i> - Tipo: Enredadera
2. <i>Smilax tomentosa</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Nativa – Colombia - Familia: Smilacaceae - Género: <i>Smilax</i> - Tipo: arbusto - Hasta 25 cm de largo y 16 cm de ancho.

3. Salpichroa tristis



- Origen: Nativa – Colombia a Bolivia
- Familia: Solanaceae
- Género: Salpichroa
- Tipo: enredadera

4. Tropaeolum majus






- Origen: México y América del Sur.
- Familia: Tropaeolaceae
- Género: Tropaeolum
- Tipo: arbusto




La Capuchina necesita **exposición** a pleno sol, el riego más bien escaso, pues la retención del agua podría llegar a pudrir la planta.

Adaptado de Guía Colombiana para la Construcción de Jardines Verticales.
(2018)

Tabla 15.

Especies Comúnmente utilizadas en Jardines Verticales

Tabla de Especies Comúnmente utilizadas en Jardines Verticales	
1. <i>Duranta xalapensis</i> Kunth	
	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Nativa – Sudamerica - Familia: Verbenaceae - Género: <i>Duranta</i> - Tipo: arbusto <p>Planta de exterior</p>
2. <i>Aerva sanguinolenta</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Ecuador, Bhutan, China, Laos, Tailandia, Taiwan, India, Vietnam - Familia: Amaranthaceae - Género: <i>Aerva</i> - Tipo: arbusto – planta medicinal <p>Planta de exterior</p>
<i>Santolina chamaecyparissus</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Sur de Europa - Familia: Asteraceae. - Género: <i>Santolina</i> - Tipo: Arbusto perennifolio <p>Planta de exterior</p>

<i>Coleus blumei</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: India - Familia: Labiadas - Género: <i>Coleus</i> - Tipo: arbusto - Perenne <p>Planta de exterior</p>
<i>Chlorophytum comosum</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: África - Familia: Agavaceae - Género: Chlorophytum - Tipo: ornamental <p>Planta de interior bien adaptada al exterior</p>
<i>Eleagnus pungens</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Japón - Familia: Eleagnaceae - Género: <i>Eleagnus</i> - Tipo: Arbusto <p>Planta de exterior</p>

3.8.2 Determinación del Sustrato

Hay dos tipos de medios de siembra que se pueden usar; suelo e hidropónico medio. El suelo es más fácil de mantener y requiere fertilizantes más baratos

(Curtis & Stuart, 2010). También existen alternativas hidropónicas, es decir que no poseen un medio sólido para el desarrollo de las plantas, sino que es el agua la responsable de la nutrición de los individuos mediante la adición de nutrientes al sistema de riego. Para esto se determinará el mejor medio de acuerdo al tipo de sistema escogido y la viabilidad de implementación tomando en cuenta el costo total del sistema.

3.8.3 Dimensionamiento del Jardín

Según la **Resolución 6619 de 2011 Secretaría Distrital de Ambiente** perteneciente a la alcaldía de Bogotá en el artículo 5 de la mencionada norma se estipula que:

ARTÍCULO 5º. DIMENSIONES DE LOS JARDINES VERTICALES. Los jardines verticales, según su lugar de ubicación, tendrán las siguientes dimensiones:

a) Jardines Verticales ubicados en culatas de edificaciones: Podrá ocuparse el ciento por ciento (100%) del área de la culata con jardines. Para su financiación se autoriza la ubicación de elementos de publicidad que podrán ocupar un área equivalente al diez por ciento (10%) del área ocupada por el jardín, sin que sobrepase en ningún caso, de cuarenta y ocho metros cuadrados (48 m²).

Por lo tanto, se puede hacer el uso del 100% del área disponible en la Sede Queri la pa construcción del Jardín Vertical planteado en esta propuesta.

3.8.4 Determinación del Sistema de Riego

Para la implementación de un jardín vertical saludable existen condiciones mínimas que debe cumplir para su correcto funcionamiento y asegurar la máxima de supervivencia de las especies plantadas, es por esto que se requiere un sistema automatizado que regule la cantidad de agua y dotación diaria para estos sistemas. Se recomienda sistemas por goteo que deberán activarse cada noche con la finalidad de evitar al máximo la pérdida de agua y su evaporación a lo largo del día lo cual maximiza la funcionalidad del sistema y ahorra el consumo de agua para el riego (Bessudo, 2014).

4.Resultados y Discusión

4.1 Datos Levantados

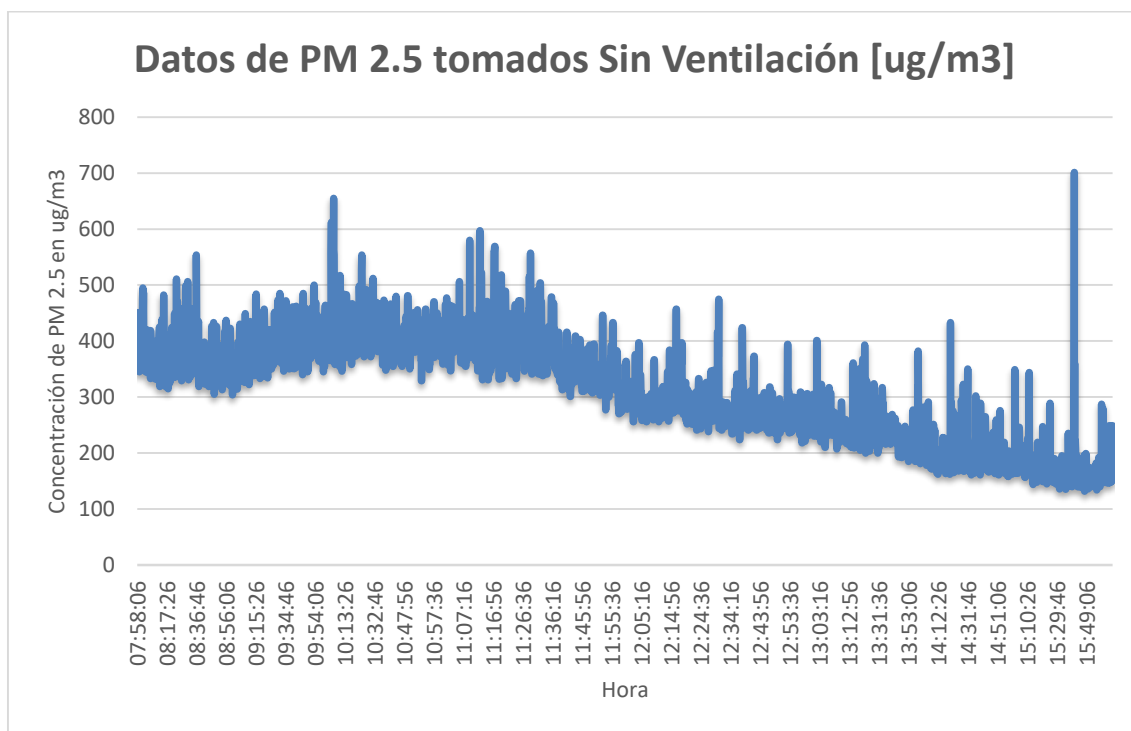


Figura 5. Datos levantados durante el monitoreo indoor sin ventilación

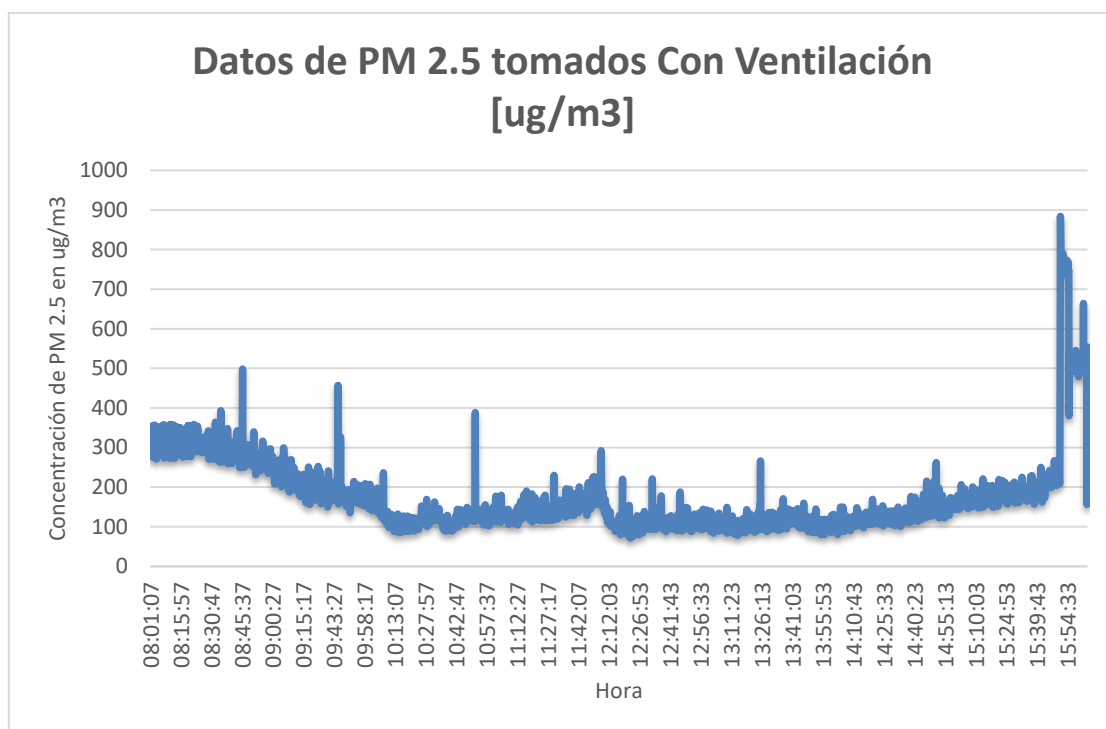


Figura 6. Datos levantados durante el monitoreo indoor con ventilación

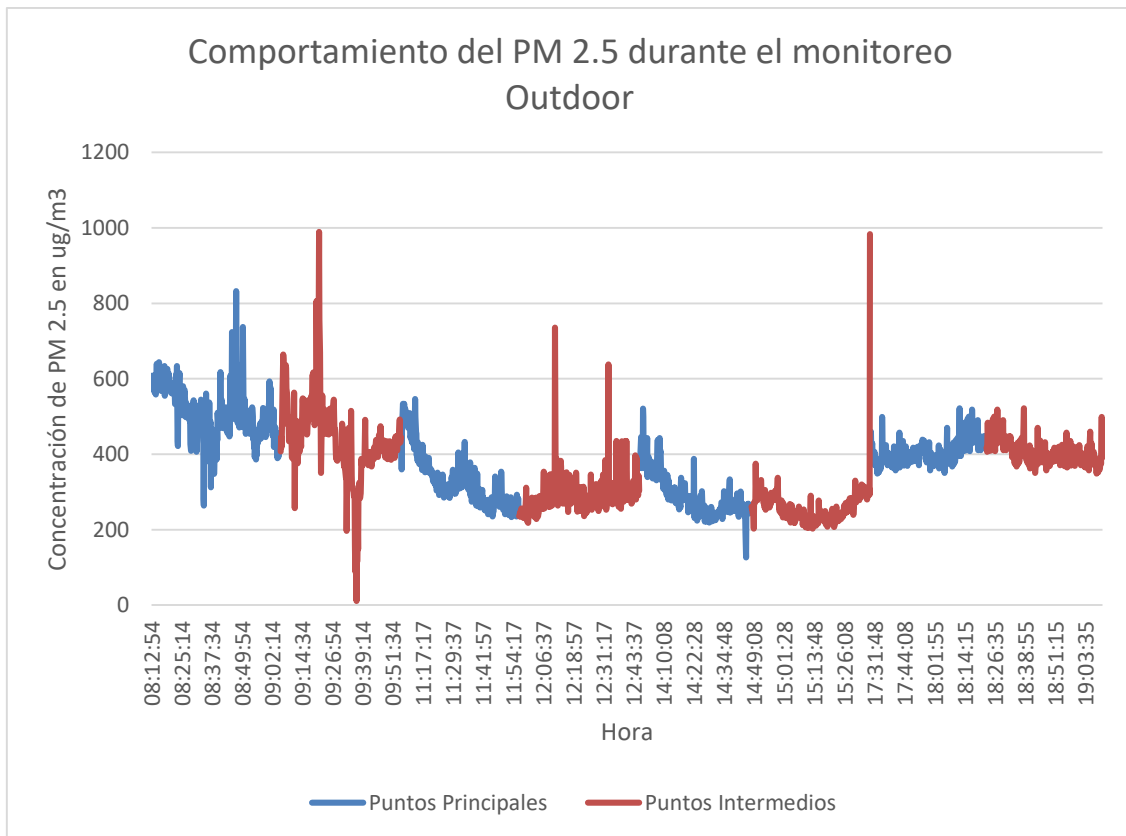


Figura 7. Datos levantados durante el monitoreo Outdoor

A su vez se realizó el monitoreo con el equipo de gases múltiples, sin embargo, no se registraron cambios en las concentraciones de CO, H₂S ni se registraron concentraciones de COVs. La única variación registrada por este equipo de medición fue la concentración de O₂; la cual variaba en función del número de personas presentes; sin embargo, tampoco esta variación se consideró relevante debido a que su valor mínimo fue de 20,2 % mientras que el valor normal de O₂ presente en la atmósfera es de 21%. De la misma manera en los días restantes no se registraron cambios en ninguno de los parámetros previamente mencionados. La única variación notable fue el incremento del porcentaje de O₂ presente que incrementó a un rango de 20,8 a 21,1%. Debido a que al realizarse el estudio piloto se constató con el equipo con el equipo medidor de gases múltiples la no presencia de otros contaminantes el monitoreo se centró en la medición de PM 2.5, utilizando el equipo Microdust Pro.

4.2 Validación

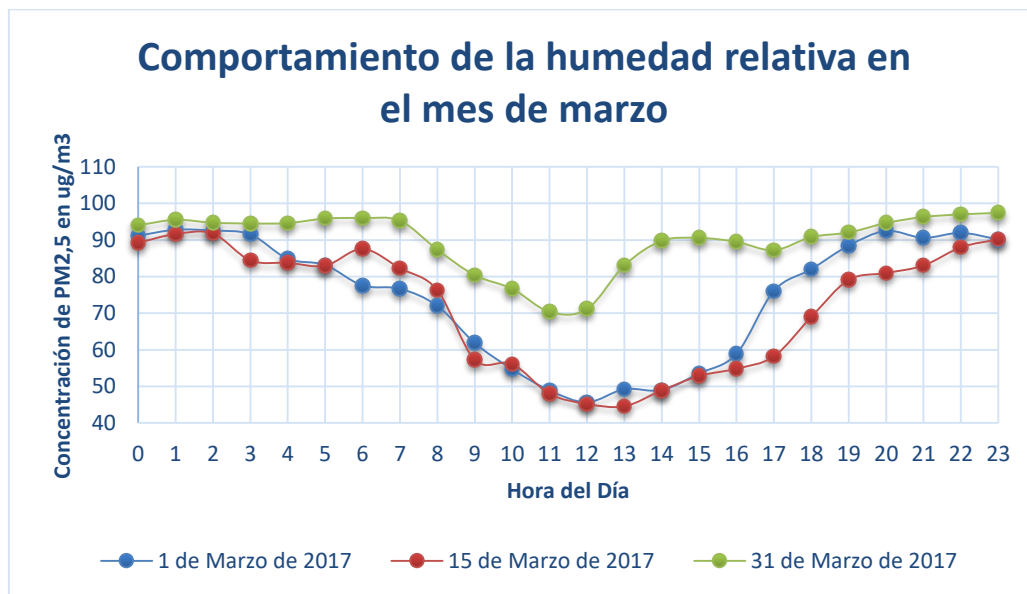


Figura 8. Datos históricos obtenidos de la Secretaría de Ambiente acerca de la humedad relativa del mes de marzo

Debido a la existencia de una alta humedad relativa, mayor al 50%, se determinó la necesidad de aplicar la corrección aplicada en la validación a todos los datos obtenidos durante el muestreo.

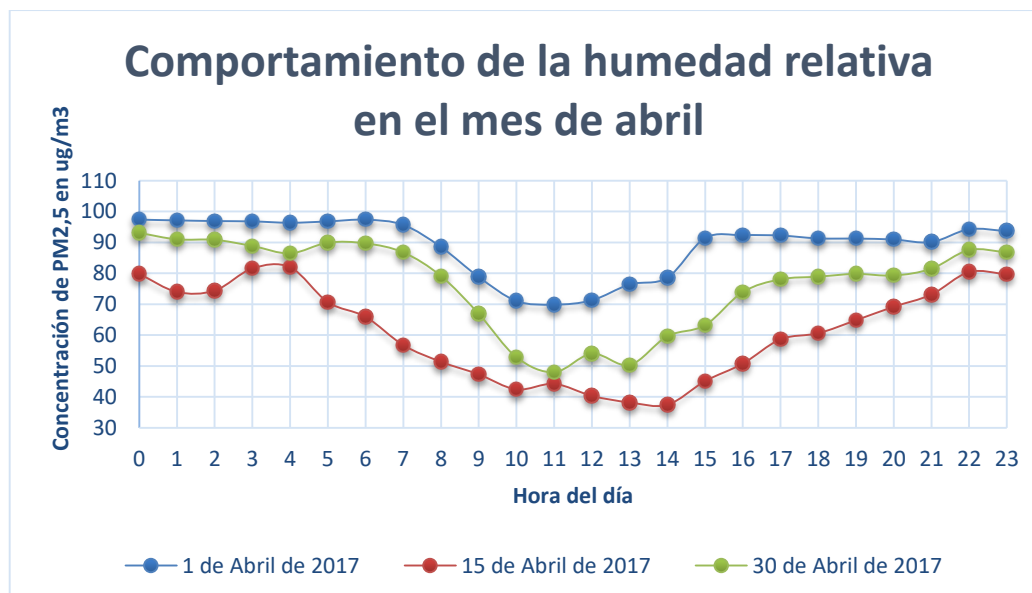


Figura 9. Datos históricos obtenidos de la Secretaría de Ambiente acerca de la humedad Relativa del mes de abril

Estas gráficas muestran el comportamiento de la humedad relativa tomada en la estación Belisario, donde se aprecia que una alta humedad sobre todo entre la última semana de marzo y las primeras semanas de abril, que fue cuando se desarrolló el muestro de calidad de aire. Además, muestran la tendencia general del comportamiento atmosférico de la ciudad de Quito, mismo que veremos replicada en diferentes gráficas a lo largo de los resultados del monitoreo de calidad del aire.

Tabla 16.

Datos de PM 2.5 en ug/m3 obtenidos con los equipos Microdust Pro (UDLA) y Thermo Scientific/ FH62C14 (Secretaría de Ambiente) del 11 de abril de 2018

Hora		Microdust Pro	Secretaría Ambiente
8:00	9:00	446	33,40
9:00	10:00	432	24,72
10:00	11:00	337	42,14
11:00	12:00	381	23,68
12:00	13:00	365	32,45
13:00	14:00	133	13,53
14:00	15:00	208	27,84
15:00	16:00	281	14,55

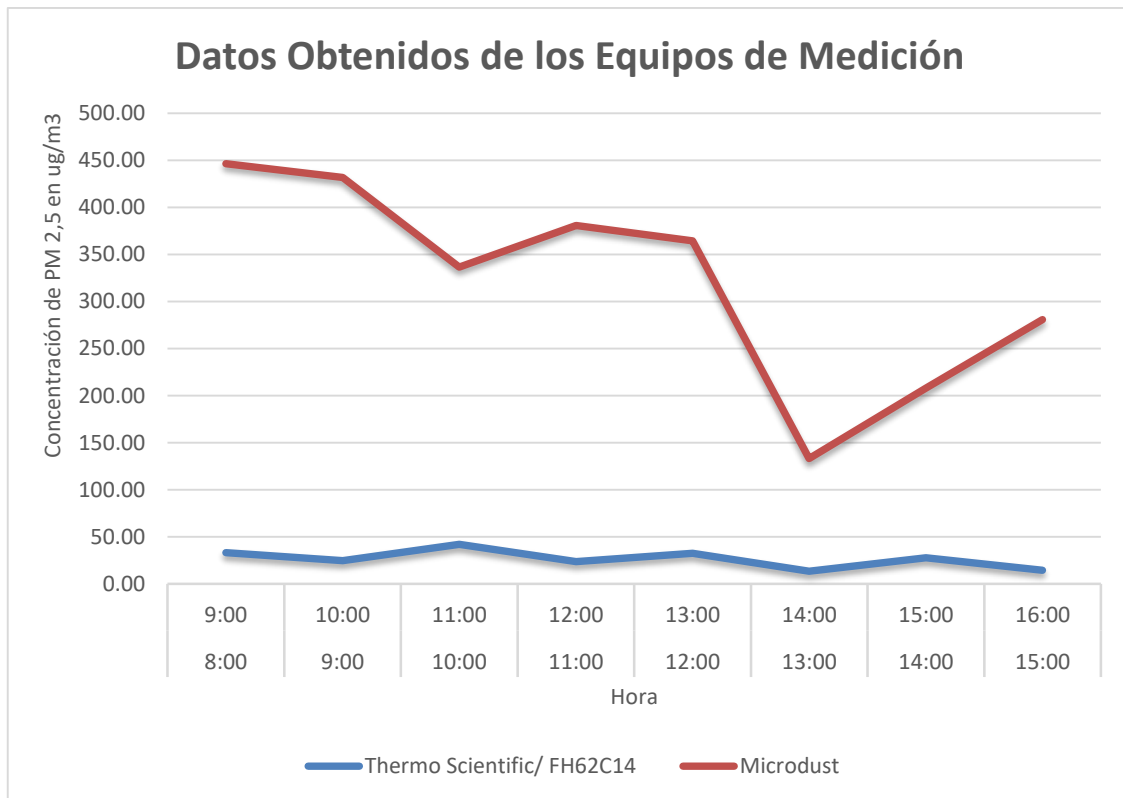


Figura 10. Comparación de los datos obtenidos con el equipo de la Secretaría de Ambiente y el de la Udla

En esta gráfica la línea de color naranja muestra la concentración de PM 2.5 obtenida con el equipo Microdust Pro, mientras que la línea azul muestra las concentraciones obtenidas con el equipo Thermo Scientific/ FH62C14 de la Secretaría de Ambiente. Se puede apreciar una amplia diferencia entre los datos obtenidos por ambos equipos; esto se debe a las características funcionales de cada uno. El equipo disponible en la estación de la Secretaría de Ambiente es de mayor precisión, debido a que en su interior posee un mecanismo que ayuda a la evaporación del agua que rodea a las partículas que ingresan al equipo desde del aire ambiente, hacia el mecanismo que se encuentra caliente y al chocar con el agua se disipa por lo cual permite medir únicamente la partícula sin poseer ningún tipo de incremento; mientras que por su parte el Microdust utiliza un mecanismo infrarrojo y no posee ningún mecanismo para aislar o disipar el agua presente en el aire ambiente que se encuentra alrededor de las

partículas que son absorbidas mediante la bomba, esto determina que este equipo muestre una concentración mayor de PM 2.5.

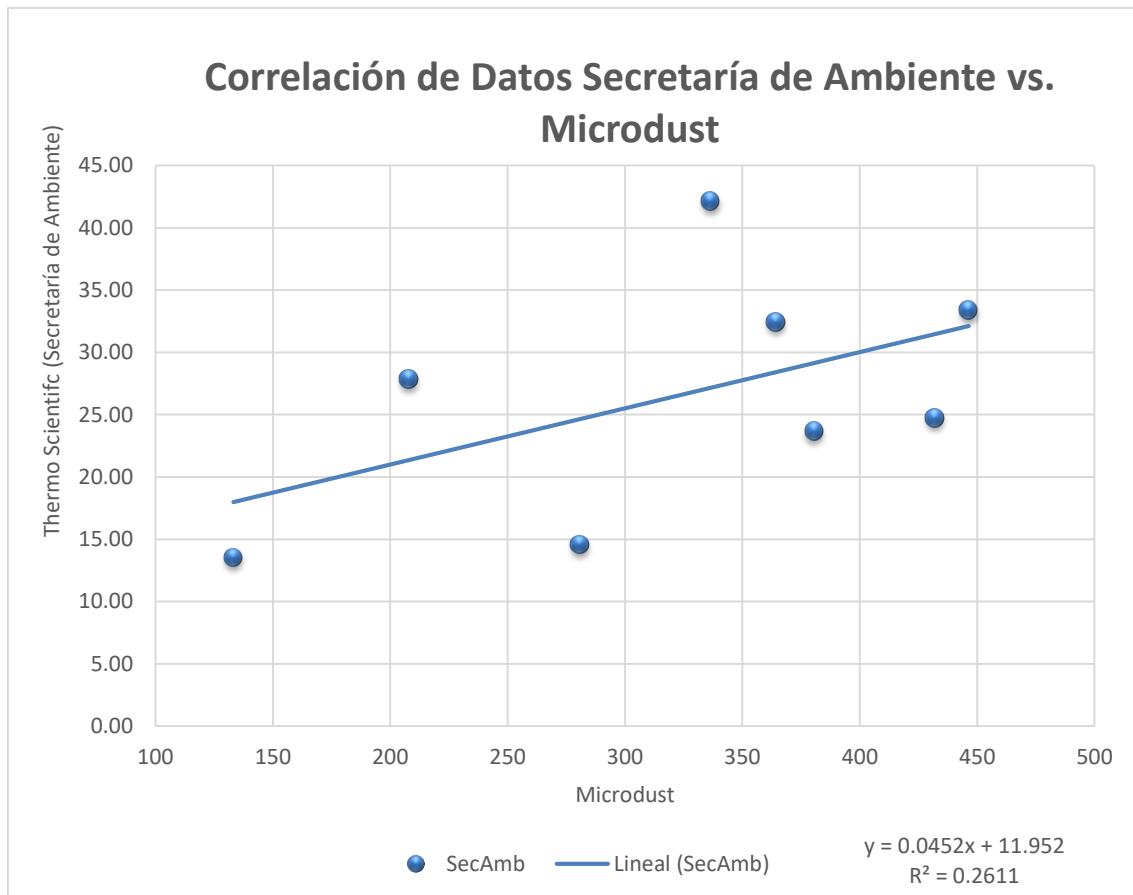


Figura 11. Dispersión de los datos de los equipos y recta de la cual se obtuvo la ecuación para la corrección de datos

Esta gráfica muestra la correlación de los equipos, es decir que se analizaron las concentraciones de ambos y se traza una línea para verificar la proximidad o distancia que poseen los datos de los equipos entre sí obteniendo una relación entre ellos de $R = 0.5109$, que puede llamarse como una relación superior al 50% entre sí; además se obtiene la siguiente ecuación para realizar la corrección de los datos:

$$y = 0.0452x + 11.952 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Al aplicar la ecuación anterior tenemos en la siguiente tabla en la columna pintada de color verde la corrección de los datos obtenidos con el equipo Microdust Pro

Tabla 17.

Datos corregidos mediante la aplicación de la ecuación obtenida con el proceso de correlación y horas a las cuales pertenecen.

Hora		Microdust	Secretaría Ambiente	Desviación Estándar	Datos Corregidos
08:00	09:00	446	33.40	53	32.13
09:00	10:00	432	24.72	57	31.48
10:00	11:00	337	42.14	27	27.17
11:00	12:00	381	23.68	36	29.16
12:00	13:00	365	32.45	88	28.43
13:00	14:00	133	13.53	21	17.97
14:00	15:00	208	27.84	59	21.36
15:00	16:00	281	14.55	15	24.65

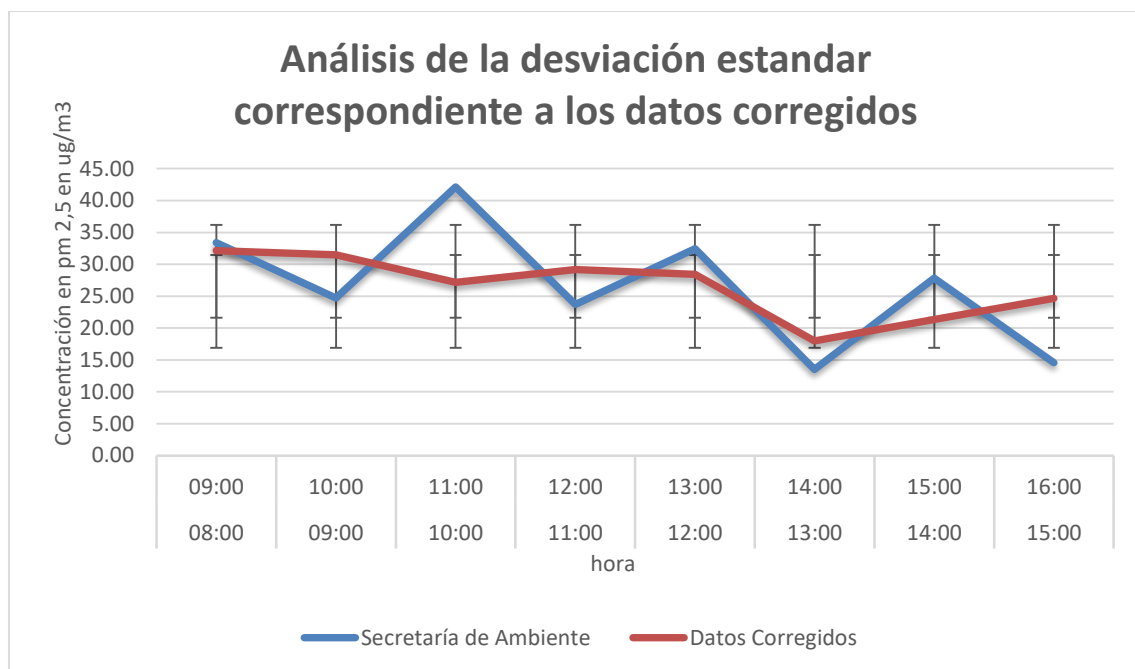


Figura 12. Grafica de comparación de los datos corregidos de los equipos y desviación estándar

Esta gráfica muestra una línea de color naranja correspondiente a los datos de la Secretaría de Ambiente, la línea azul muestra los datos corregidos del Microdust

y las barras en cada punto corresponden el análisis de la desviación estándar con las cual podemos comprobar cómo se encajan los datos obtenidos con ambos equipos, mostrando como los datos se aproximan unos con otros, si bien se puede observar que en algunos casos no se encajan en algunos puntos en la mayoría de ellos se cumple la condición. Cuando no se cumple se puede pensar que se debe a la distancia donde fueron tomados los datos debido a que el equipo Microdust Pro no se encontraba en el mismo lugar donde el segundo equipo se encontraba haciendo la medición.

4.3 Calidad de Aire

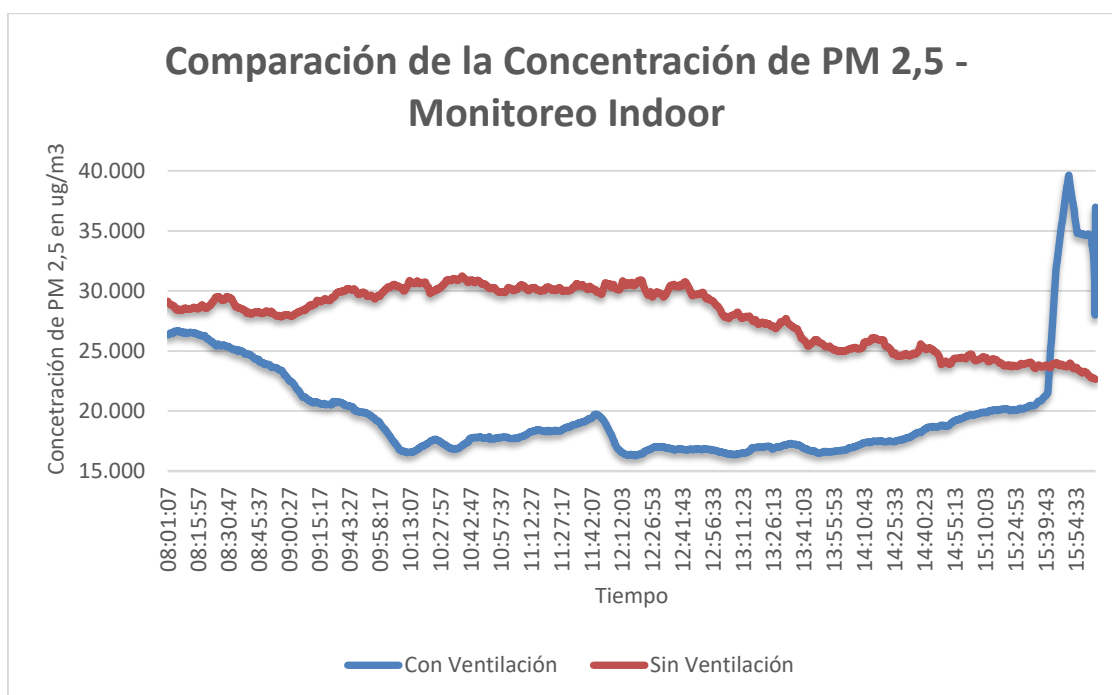


Figura 13. Comparación de la Concentración de PM 2,5 - Monitoreo Indoor

Esta gráfica muestra la comparación entre las concentraciones de PM_{2.5} obtenidas durante el monitoreo Indoor. La línea de color naranja muestra la concentración sin ventilación mientras que la línea de color azul muestra la concentración con ventilación. Existe una clara diferencia entre la concentración de ambas gráficas, esto se debe a que la ventilación natural ayuda a la dispersión del material particulado acumulado en un área, gracias a la diferencia de

presiones existentes entre los ambientes exteriores e interiores, lo que favorece las corrientes de aire (Morales, Acevedo, & Nieto, 2010).

Se puede apreciar que la línea azul posee dos picos donde las concentraciones alcanzan y rebasan las concentraciones obtenidas durante el monitoreo Indoor sin ventilación esto se debe a dos causas:

- **Periodo de tiempo 8:00 – 9:00 am:** las ventanas no se encontraban abiertas debido a que había una clase en curso en el aula seleccionada para el estudio.
- **Periodo de tiempo 15:30 – 16:30 pm:** debido al aparente encendido del impactador de la empresa aledaña, ya que se podía escuchar el ruido del mismo.



Figura 14. Monitoreo Outdoor - Día Completo

Esta gráfica muestra los resultados obtenidos de las concentraciones de PM 2.5 obtenidas durante el monitoreo Outdoor, también se puede observar cómo sigue la tendencia del comportamiento atmosférico de la ciudad de Quito mencionado anteriormente.

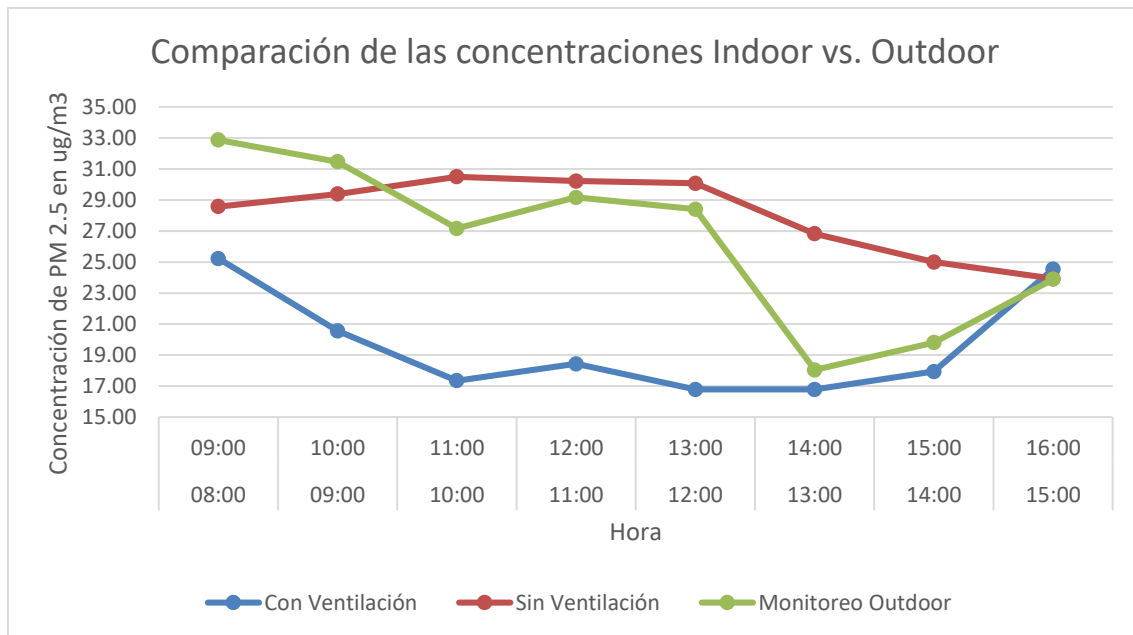


Figura 15. Comparación de las concentraciones Indoor vs. Outdoor

Esta gráfica muestra la comparación de las gráficas anteriores, es decir que se permite apreciar las diferencias existentes entre las concentraciones de PM 2.5 obtenidas durante cada hora de los monitoreos Indoor con ventilación (línea azul), sin ventilación (línea naranja) y Outdoor de día completo (línea verde). Esta gráfica muestra que las concentraciones obtenidas con el monitoreo Indoor sin ventilación son en su mayoría más altas que las obtenidas con los otros dos monitoreos, esto implica que las personas quienes ocupan el bloque 8 pueden verse expuestas a lo que se conoce como el Síndrome del edificio enfermo, es decir que posible experimentación dolencias que generalmente asociadas con el lugar de trabajo o estudio de un individuo, especialmente edificios, o residencia cuya calidad de aire interior es inferior a la del aire exterior, además existen estudios que lo relacionan a desempeños pobres a nivel laboral o académico (Li, et al., 2015). Los síntomas incluyen dolores de cabeza, fatiga e irritación en las vías respiratorias superiores nariz, garganta, ojos, manos o piel facial y pueden variar por individuo (Zhang , Li, Zhang , Zhao, & Norback, 2014) .Por otra parte, al comparar las concentraciones con ventilación y Outdoor, podemos notar una mejora significativa en relación a las concentraciones obtenidas sin ventilación, por lo cual es importante remarcar la importancia de la adecuada ventilación de

espacios cerrados, permitiendo un adecuado flujo de aire para la eliminación de contaminantes en ambientes interiores (Maddalena, et al., 2014).

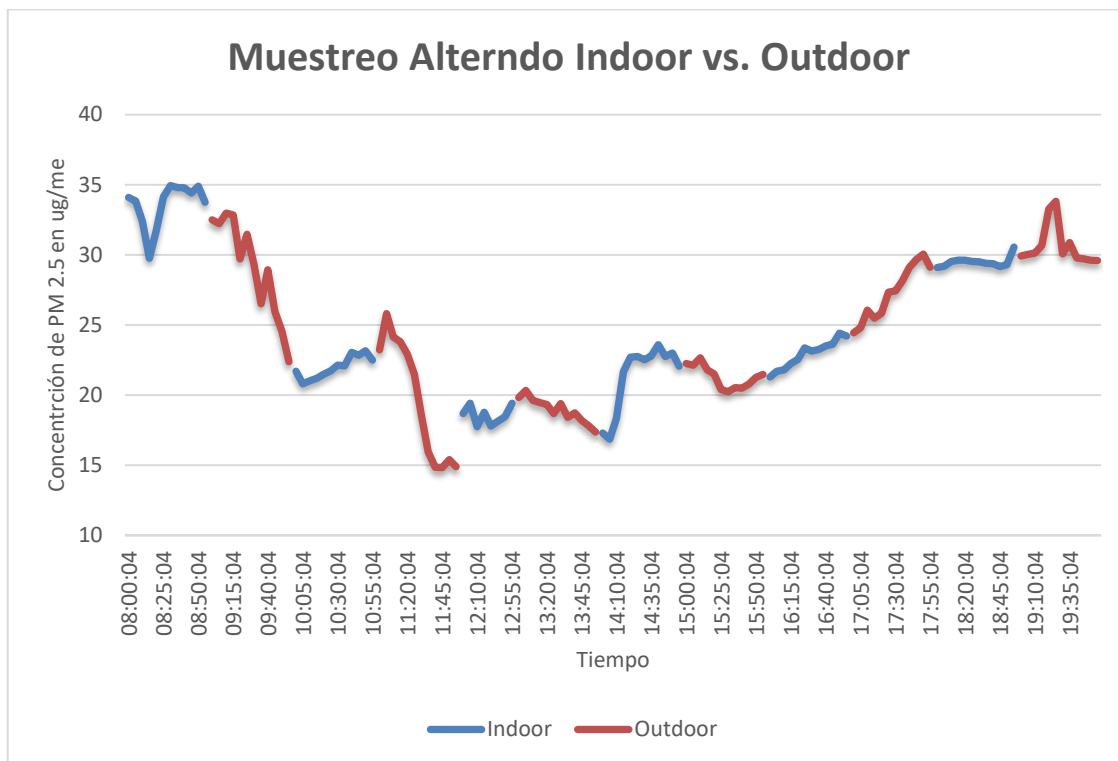


Figura 16. Muestreo Alternado Indoor vs. Outdoor

Estas gráficas muestran los resultados de las concentraciones obtenidas durante el monitoreo alternado realizado, la línea azul pertenece al monitoreo Indoor mientras que la línea color naranja pertenece al monitoreo Outdoor. Esta gráfica muestra claramente la tendencia del comportamiento atmosférico existente en la ciudad de Quito, es decir altas concentraciones de PM 2.5 durante los periodos de la mañana y de la tarde. Sin embargo, aun con esta tendencia se muestra como las concentraciones de PM 2.5 son menores en el ambiente interior comparado al exterior. Cabe mencionar que las altas concentraciones de PM2.5 que se pueden apreciar en el periodo de 8:00 a 9:00 del monitoreo correspondiente a ambiente interior se deben a la acumulación de material particulado del día anterior donde no existió ventilación dentro del área de estudio. Después de este periodo de tiempo se puede observar que las

concentraciones en el ambiente exterior son ligeramente más altas que en ambiente interior.

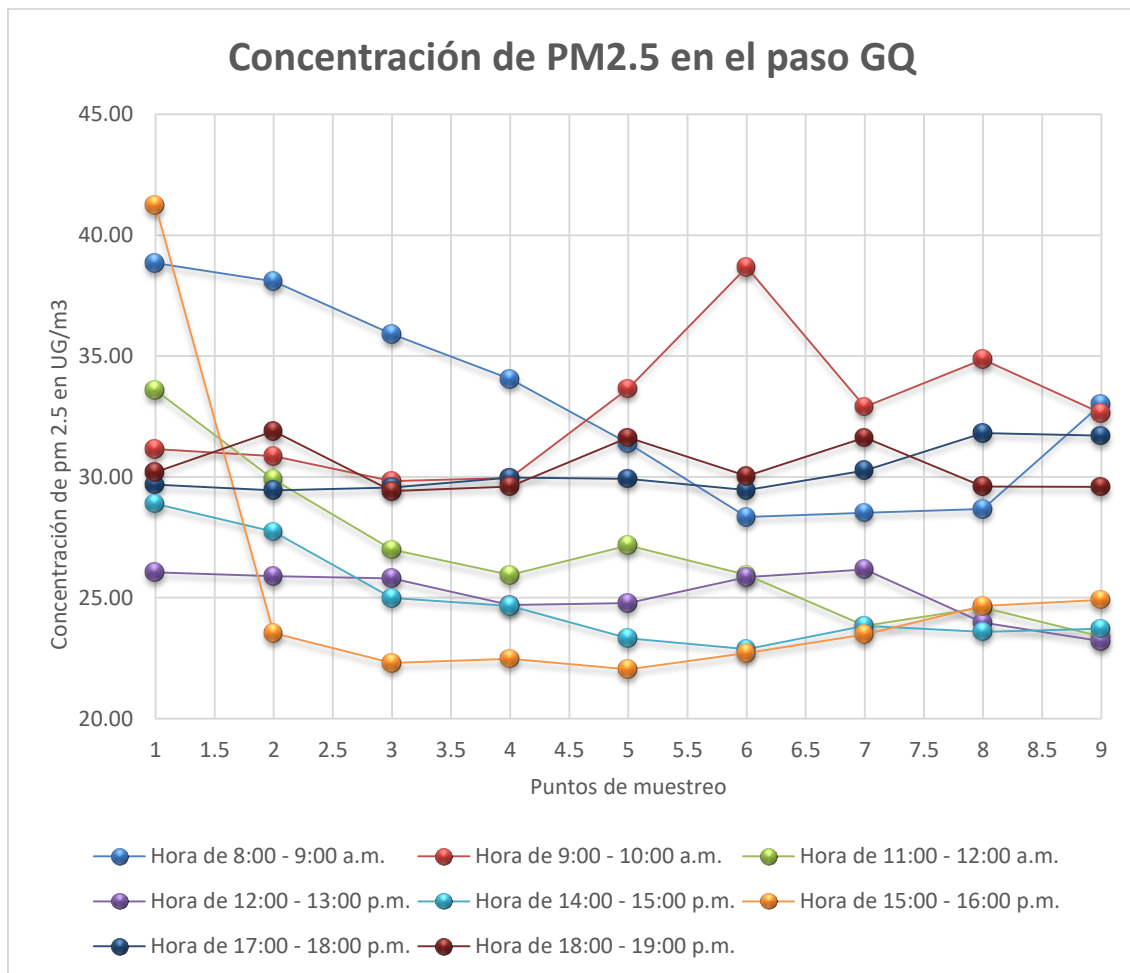


Figura 17. Concentración de PM 2.5 en los puntos de monitoreo del Paso Granados – Queri (G – Q)

Esta gráfica muestra las concentraciones obtenidas en los puntos de monitoreo determinados en el paso GQ, donde existen puntos críticos a diferentes horas del día, pero gracias a esto se puede determinar las áreas con alta influencia de PM 2.5 donde los usuarios se ven expuestos a mayores concentraciones mientras atraviesan el paso. Por ejemplo, se puede tomar a los punto 1, y 2 como ejemplo de un pico de alta concentración en el intervalo de tiempo de 8:00 a 9:00 am; lo cual se debe al alto flujo vehicular existente en la avenida Granados, este

dato nos es relevante dado que los problemas de salud pública relacionados con el tráfico son notables en varias ciudades del mundo; por lo cual países como Estados Unidos, China, Dinamarca y otros han realizado una serie de estudios que han caracterizado los patrones espaciales de las exposiciones relacionadas con el tráfico demostrando que los niveles de contaminantes pueden acercarse a concentraciones de fondo a una distancia de 200 metros (Li, et al., 2015), esto nos permite afirmar que la actividad vehicular de la avenida Granados tiene influencia sobre la calidad de aire de paso GQ.

4.4 Beneficios de la implantación de un jardín vertical en la Sede Queri

Desde que comenzó el uso de estos sistemas se han identificado diversos beneficios para el ambiente, el bienestar y la salud, a continuación, se mencionan los beneficios de los jardines verticales obtenidos de diversas fuentes de estudios que fueron realizados en diversas partes del mundo pero que tienen en común beneficios en la calidad del ambiente y la biodiversidad.

- Son sistemas de climatización pasiva de los edificios al sombrear las fachadas y mediante la retención de la radiación solar (Blanc, 2006), tienen la capacidad de aumentar el aislamiento en edificios al mantener fresco durante la época de verano y cálido durante los meses de invierno, mejoran la estética y el clima interior y exterior (Jain & Janakiram, 2016).
- El Laboratorio Nacional de Energía Renovable del Departamento de Energía de los Estados Unidos indica que la naturación urbana bien diseñada puede proteger edificaciones del viento invernal y del sol de verano, logrando un ahorro de hasta 25% del consumo de energía de calefacción y refrigeración; se incrementa la eficiencia de una unidad de aire acondicionado hasta un 10 por ciento y agregar un 10-15 por ciento al valor de la casa.
- Mejora de la calidad del aire en las ciudades actuando como filtros absorbiendo algunos contaminantes y reteniendo partículas en suspensión en el aire de las ciudades (Bruse, Thönnessen, & Radtke, 2004), reduce los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂),

- Reducción del efecto “isla de calor” en las ciudades. Esto se produce debido a la evapotranspiración en la fachada ajardinada (Schmidt, 2006), este efecto puede ser provocado debido a factores como: materiales de construcción, durante el día, se puede almacenar calor más sensible en los materiales de construcción, que debido a su gran capacidad calorífica almacenan el calor y se liberará de nuevo al medio ambiente por la noche, el efecto invernadero y las fuentes de calor antropogénicas (Jain & Janakiram, 2016).
- Tienen influencia en el aumento de la biodiversidad, al actuar como refugio para numerosos invertebrados, y especies de aves (Blanc, 2006), así como el aumento de los valores ecológicos a través de la creación de hábitats para aves e insectos (Jain & Janakiram, 2016).
- Cuando la superficie de la planta esta mojada, la velocidad de eliminación del contaminante aumenta hasta 10 veces (Briz, 2004).
- Los jardines verticales tienen una aplicación directa en la depuración del aire en el interior de los edificios, reteniendo partículas en suspensión y sustancias contaminantes (Darlington & Dixon, 2001).

4.5 Jardín Vertical

A continuación, se encuentran definidos en los siguientes apartados las características seleccionadas para la construcción de la propuesta de un jardín vertical para la Sede Queri.

Tomando en los parámetros escogidos tenemos que la propuesta es la siguiente:

- Luz solar: para el correcto desarrollo de las plantas se propone el cambio de material del techo del paso GQ a policarbonato u otro tipo de material que permita la entrada de luz solar, si el cambio no se produce se recomienda la utilización de especies de interior, sin embargo, gracias a la recolección de información realizada se puede cuantificar un aumento en el costo de las plantas de hasta 400%, es decir de 0.50 ctvs. a un mínimo de 2.00 USD.
- Instalación: se recomienda el uso de una estructura secundaria de aluminio, para ayudar a la fácil instalación de las bolsas de fieltro.

- Mantenimiento: Se recomienda poda para las pantas cada tres meses.

4.5.1 Selección del Tipo de Jardín Ideal

El tipo seleccionado es un jardín con sistema de fieltro, debido a que gracias a sus características es de fácil instalación, la cual no requiere mano de obra calificada, además los materiales requeridos para el mismo con de bajo costo y se encuentran disponibles para la compra en ferreterías, mientras que las especies escogidas tienen alta disponibilidad en diversos viveros.

Espacio disponible:

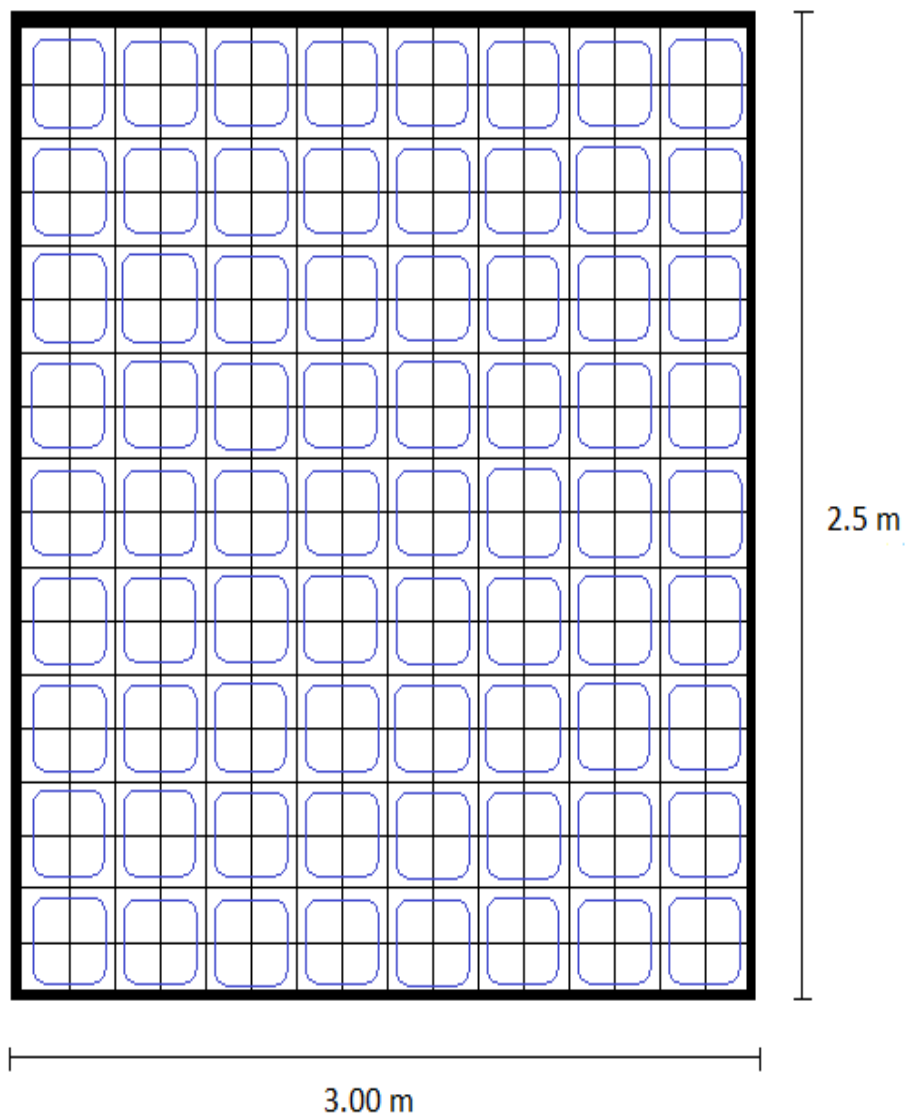


Figura 18. Bosquejo de una sección del espacio disponible, cuadros azules representan las bolsas de fieltro

4.5.2 Selección de Especies

Habiendo comprobado el espacio disponible a continuación se presenta un segundo bosquejo que muestra la cantidad y distribución de los individuos por cada m² de jardín vertical.

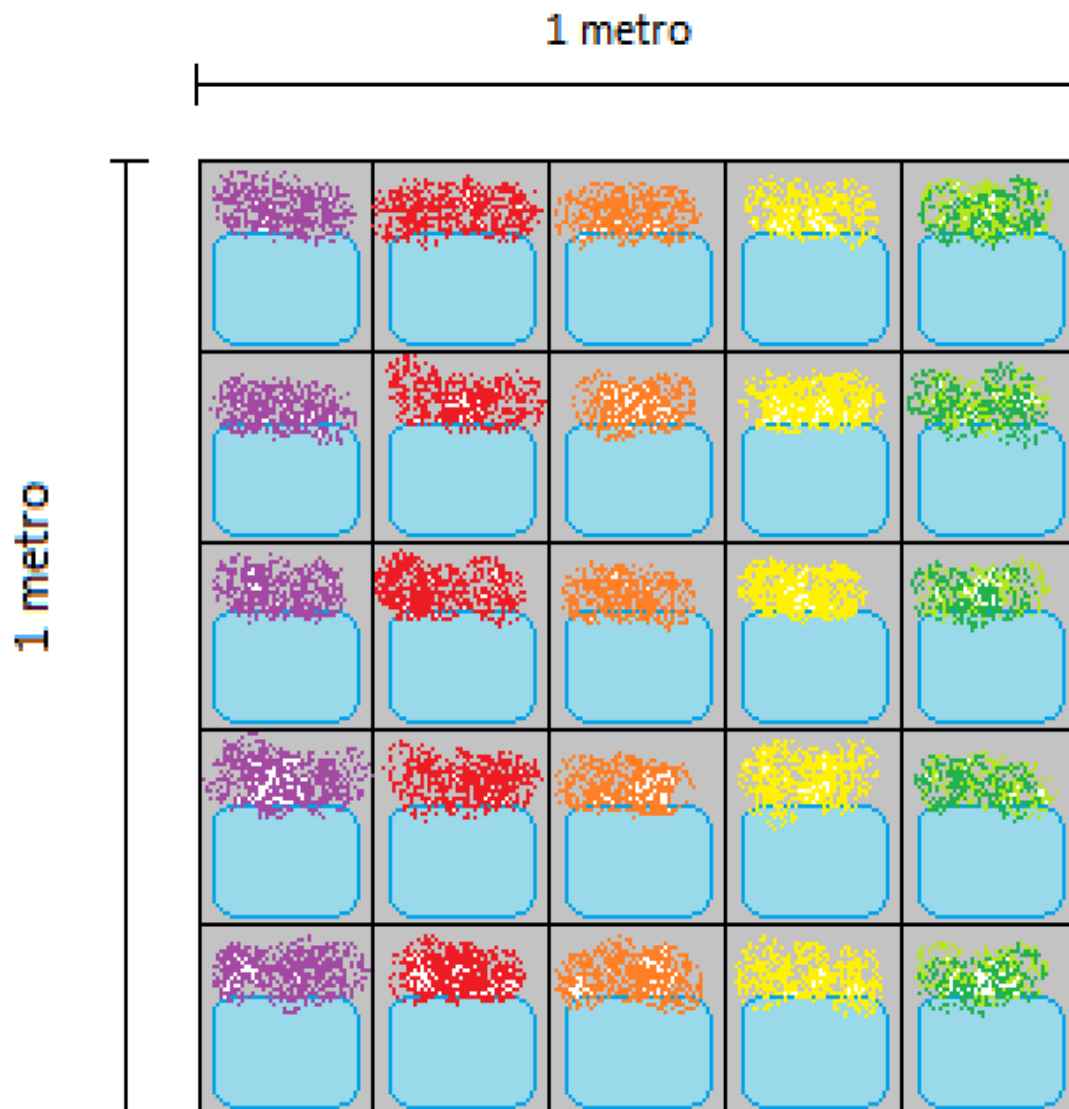


Figura 19. Distribución y representación por colores de los individuos escogidos.




No. Total de Individuos: 25 por metro cuadrado de Jardín Vertical



Área por individuo: 0.04 m² (20 cm x 20 cm)

Área Total: 1m²

Tabla 18.

Esta tabla muestra el nombre común de la planta, su costo de mercado y el número de individuos por metro cuadrado.

1. <i>Duranta xalapensis</i> Kunth	
	<p>Color vere</p> <p>Nombre en el mercado: Duranta</p> <p>Costo: 0.50 ctvs. por individuo</p> <p>No. De individuos por m2: 5</p>
2. <i>Aerva sanguinolenta</i>	
	<p>Color Morado</p> <p>Nombre en el mercado: Escancel</p> <p>Costo: 0.50 ctvs. por individuo</p> <p>No. De individuos por m2: 5</p>
Mosquita	
	<p>Color Amarillo</p> <p>Nombre en el mercado: Mosquita</p> <p>Costo: 0.50 ctvs. por individuo</p> <p>No. De individuos por m2: 5</p>

Mariposa	
	<p>Color Naranja Nombre en el mercado: Mariposa Costo: 0.50 ctvs. por individuo No. De individuos por m2: 5</p>
Tortuga	
	<p>Color Rojo Nombre en el mercado: Tortuga Costo: 0.50 ctvs. por individuo No. De individuos por m2: 5</p>

Cabe mencionar que existe amplia variedad de colores de las especies propuestas que están sujetas a la disponibilidad del mercado de los viveros de la parroquia de Nayón, reconocida como distribuidor principal de plantas a nivel local

4.5.3 Selección del medio

Se ha decidido la utilización de turba como medio para el desarrollo de las plantas del jardín, debido a su bajo costo, fácil aplicación y además su larga vida útil de alrededor de 3 a 5 años, como fue indicado por el experto consultado en vivero de la parroquia de Nayón.

4.5.4 Selección del sistema de riego

El sistema de riego se eligió en base al más usado en el mercado para jardines verticales, habiendo hecho entrevistas a expertos quienes proporcionaron la información, ya que debido a las características de los jardines los sistemas por goteo aseguran que el agua llegue directamente a las plantas, evitando las pérdidas y asegurando el desarrollo de las mismas proveyéndoles el sustento necesario además de una previa revisión bibliográfica donde se determinó que el sistema de riego por goteo automatizado es el ideal para este sistema.

4.5.5 Prototipo Instalado



Figura 20. Prototipo del jardín vertical

Este prototipo se instaló en las instalaciones de la sede Queri, cercano al bloque 4 debido al cierre del paso G –Q antes de la finalización del presente trabajo de

titulación. Se utilizó el material y plantas propuestas en el diseño y para su instalación se utilizaron materiales de fácil acceso como una escalera, pala, guantes y regadera. Para el mantenimiento de este prototipo se recomienda poda en periodos de 3 meses y riego manual de 3 veces por semana en verano y dos en invierno.

4.6 Proyección de Costos

Tabla 19.

Rubro de colocación de plantas por m2

Equipo y Herramienta				
Descripción	Cantidad	Tarifa/hora	Rend. - h/m2	COSTO
Pala pequeña	1	0.5	0.25	0.13 USD/m2
Total				0.13 USD/m2
Mano de Obra				
Descripción	Cantidad	S.R.H	Rend. - h/m2	COSTO
Jardinero	2	2.41	0.25	1.21 USD/m2
Total				1.21 USD/m2
Material				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	COSTO
Plantas	u	25	0.5	12.5 USD/m2
Turva	kg	1	2.13	2.13 USD/m2
Total				14.63 USD/m2
Transporte				
Descripción	Cantidad	Tarifa/m2	Tiempo	COSTO
Camioneta	1	2.5	1.00	2.50 USD/m2
Total				2.50 USD/m2

Tabla 20.

Rubro de colocación de sistema de riego por goteo

Sistema de riego	
Descripción	COSTO
Instalación de sistema de riego por goteo	13.52 USD/m ²
Total	13.52 USD/m²

Nota: Valor de sistema de riego obtenido de cotizaciones del mercado y no incluye costo por flete

Tabla 21.

Rubro de colocación de estructura para soporte

Estructura de soporte					
Descripción				COSTO	
Estructura de aluminio para colocación de bolsas				25.00 USD/m ²	
Bolsas de Fieltro				20.00 USD/m ²	
Total				45.00 USD/m²	
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	S.R.H	Rend. - h/m²	COSTO	
P. Mantenim.	2	2.41	0.5	2.41 USD/m ²	
Total				1.21 USD/m²	
Material					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	COSTO	
Taladro	u	1	10	10 USD/m ²	
Tacos	u	6	0.50	3.00 USD/m ²	
Tornillos	u	6	1.00	6.00 USD/m ²	
Total				19.00 USD/m²	

Nota: Valor de estructura obtenido de cotizaciones del mercado y no incluye costo por flete

Tabla 22.

Tabla resumen del análisis de costos y total del proyecto

Tabla Resumen

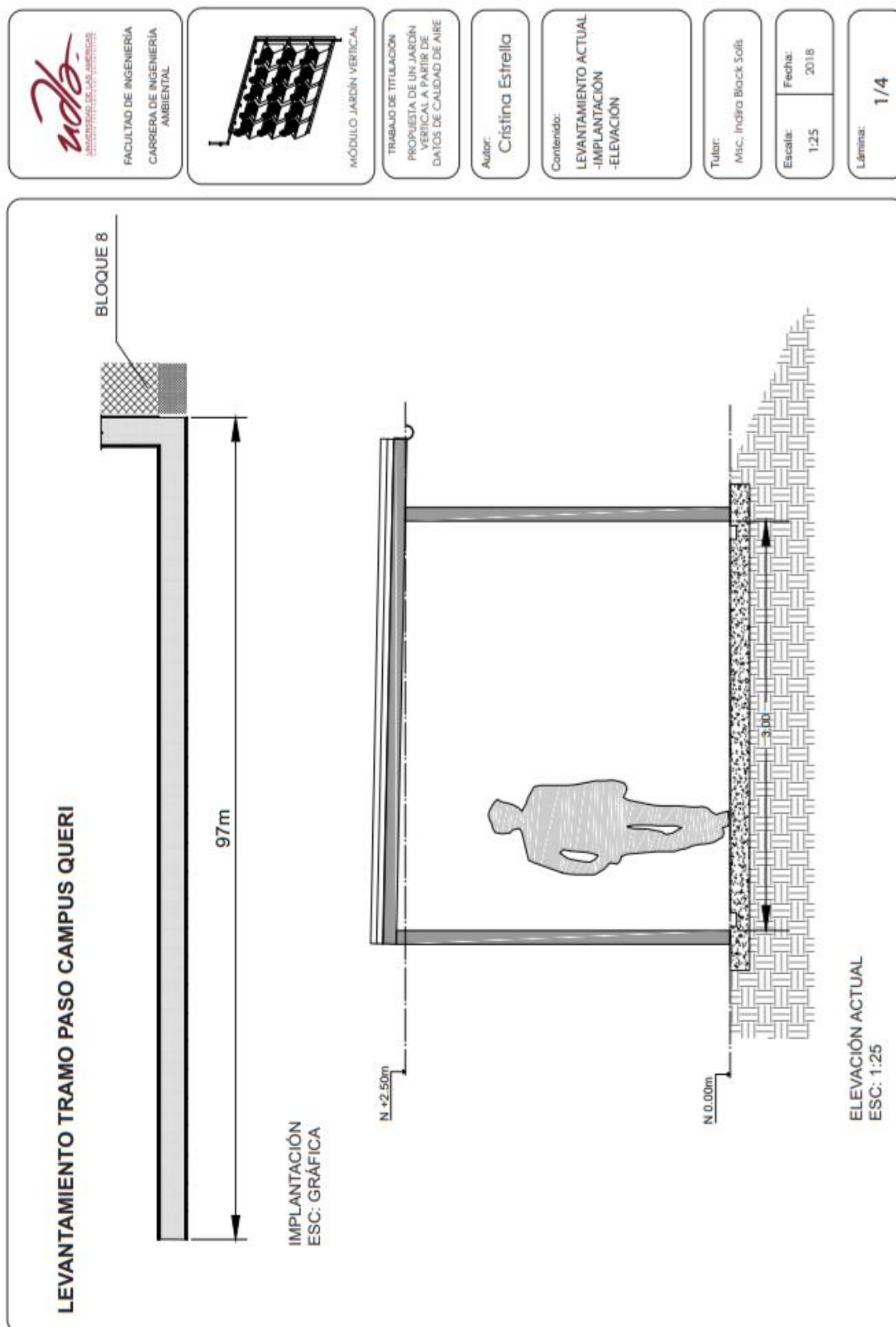
Colocación de Plantas			Colocación de estructura		
	Costos			Costos	
Equipo	0.13	USD/m2	Equipo	45.00	USD/m2
Mano de Obra	1.21	USD/m2	Mano de Obra	2.41	USD/m2
Material	14.63	USD/m2	Material	3.00	USD/m2
Transporte	2.50	USD/m2	Total	50.41	USD/m2
Total	18.47	USD/m2	Área Total	225	m2
Área Total	225	m2	Costo Total	11342.25	USD
Costo Total	4156.50	UDS			

Colocación de sistema de riego

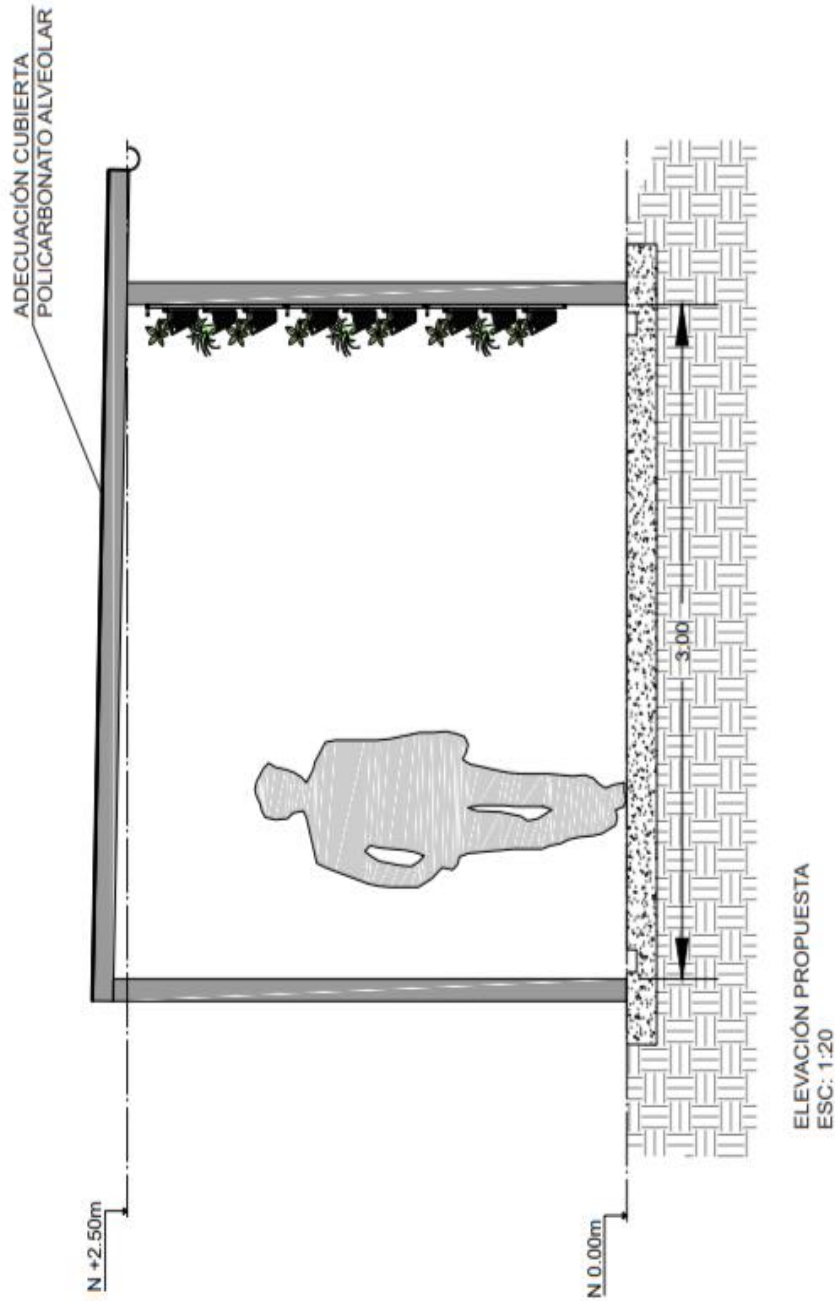
	Costos		COSTO TOTAL		
Sistema de riego	13.52	USD/m2	Total por m2	82.40	UDS
Total	13.52	USD/m2	Total Proyecto	18540.75	UDS
Área Total	225	m2			
Costo Total	3042.00	USD			

El costo total de este proyecto es de 18 540. 75 USD, el cual puede incrementar o disminuir de acuerdo a proveedores u otros factores inherentes a la construcción.

4.7 Plano del Jardín



PROPUESTA JARDÍN VERTICAL TRAMO PASO CAMPUS QUERI



FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA
AMBIENTAL



MÓDULO JARDÍN VERTICAL

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROPUESTA DE UN JARDÍN
VERTICAL A PARTIR DE
DATOS DE CALIDAD DE AIRE

Autor:
Cristina Estrella

Contenido:
PROPUESTA JARDÍN
VERTICAL
-ELEVACIÓN PROPUESTA

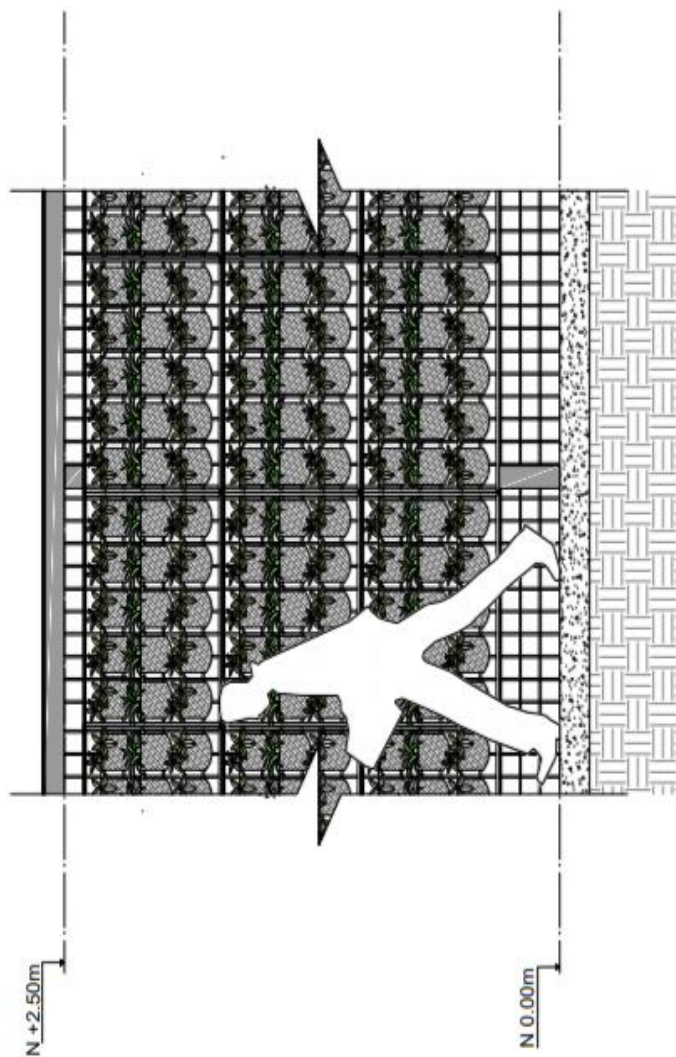
Tutor:
Misc. Indira Block Solís

Escala:
1:20

Fecha:
2018

Lámina:
2/4

PROPUESTA JARDÍN VERTICAL TRAMO PASO CAMPUS QUERI



CORTE PROPUESTA
ESC: 1:20



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA
AMBIENTAL



MÓDULO JARDÍN VERTICAL

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROPUESTA DE UN JARDÍN
VERTICAL A PARTIR DE
DATOS DE CALIDAD DE AIRE

Autor:
Cristina Estrella

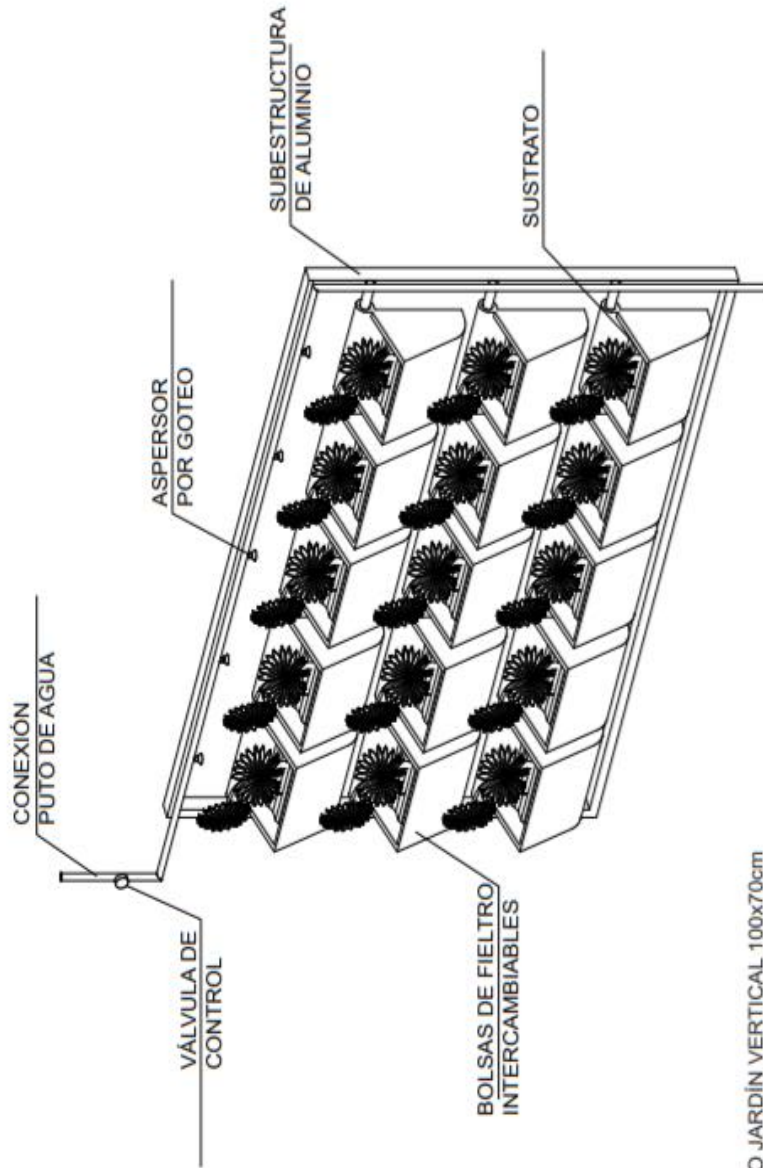
Contenido:
PROPUESTA JARDÍN
VERTICAL
- CORTE PROPUESTA

Tutor:
Msc. Indira Black Solís

Escala: 1:20
Fecha: 2018

Lámina: 3/4

PROPUESTA JARDÍN VERTICAL TRAMO PASO CAMPUS QUERI



MÓDULO JARDÍN VERTICAL 100x70cm
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO
CAPACIDAD 15 BOLSAS

udla
UNIVERSIDAD DE LA AMÉRICA
LATINA (UNIVERSIDAD DEL DUCAR)

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA
AMBIENTAL

MÓDULO JARDÍN VERTICAL

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROPUESTA DE UN JARDÍN
VERTICAL A PARTIR DE
DATOS DE CALIDAD DE AIRE

Autor:
Cristina Estrella

Contenido:
PROPUESTA JARDÍN
VERTICAL
DETALLE CONSTRUCTIVO
MÓDULO JARDÍN VERTICAL
SISTEMA DE RIEGO POR
GOTEO

Tutor:
Msc. Indira Block Solís

Escala: 5/E
Fecha: 2018

Lámina: 4/4

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Según la NECA (norma ecuatoriana de calidad de aire) se puede concluir que la calidad de aire en la Sede Queri está por debajo de los niveles de alerta establecidos en el artículo 4.1.2.1 perteneciente a los requisitos establecidos en el punto 4 del libro VI de la norma, donde se establece un nivel de alerta cuando las concentraciones de PM 2.5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se encuentren por encima de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio de un día; teniendo en la Sede Queri un promedio de $28.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Se puede concluir que las concentraciones de material particulado existente en el bloque 8 de la Sede Queri puede llegar a ser más altas que en el aire exterior, esto se debe a que no existe correcta ventilación dentro de las aulas de clases donde el PM 2.5 se acumula dando como resultado altas concentraciones, sin embargo, puede reducirse significativamente gracias a la correcta ventilación de los espacios cerrados, simplemente abriendo las ventanas disponibles ya que esto promueve la circulación de masas de aire.

La validación del equipo Microdust Pro arrojó como resultado una ecuación que se determinó gracias al procedimiento realizado y que puede utilizarse para futuros ajustes de datos obtenidos con el equipo únicamente cuando la humedad relativa sea superior a 50%, debido a que esto determina una mayor presencia de vapor de agua en el aire que puede afectar a la medición de la concentración del equipo. Esta ecuación elimina el error existente en la medición y permite la utilización de los datos en niveles comparables con la norma y con los obtenidos con otros equipos.

Uno de los beneficios de la aplicación de jardines verticales es que se pueden emplear como sistemas depuradores que mejoran la calidad del aire al funcionar como filtros, en especial para el caso de estudio realizado en esta investigación, ya que el material particulado puede acumularse en las hojas de las plantas reduciendo su presencia en el aire; además aportan con el desarrollo urbano sostenible.

Factores como el tráfico o un posible aumento de actividad en EDIMCA puede tener efecto en el aumento directo en las concentraciones de PM que afectan la calidad del aire del paso, por lo cual se espera que al implementar el jardín vertical se pueda aportar una mejoría significativa de la calidad de aire a los usuarios de paso GQ y confort visual

5.2 Recomendaciones

Se recomienda no exponer el equipo Microdust a luz solar ya que esto afecta la calidad de la lectura, por lo cual debe estar debidamente resguardado del sol o colocado en el estuche durante la medición para

Se recomienda la implementación de jardines verticales en otras áreas de la Sede debido a que sus beneficios no funciona únicamente en espacios abiertos, sino que también pueden ayudar a la mejora de la calidad de aire indoor, tomando en cuenta además que la Sede se encuentra rodeada por otro tipo de empresas cuyas actividades repercuten en la calidad de aire de la Sede.

Se recomienda el cambio de la estructura del techo del paso Q - G para permitir el ingreso de luz para el desarrollo de las plantas, caso contrario se recomienda la utilización de plantas de interior o con bajo requerimiento de luz solar.

Se recomienda riego manual para el prototipo una vez instalado.

REFERENCIAS

- Adonis, M., Caceres, D., Gil, L., & Quiñones, L. (1997). Contaminación del aire en espacios exteriores e interiores en la ciudad de Bogotá.
- Bessudo, A. (2014). *Techo verdes y Jardines verticales: una piel natural para Bogotá*. Bogotá. Creative Commons.
- Blanc, P. (2006). The vertical garden, from nature to cities. Recuperado el 05 marzo de 2018 de: https://www.goodreads.com/book/show/2538537.The_Vertical_Garden
- Briz, J. (2004). *Naturación Urbana: Cubiertas Ecológicas y Mejora Medioambiental*. Madrid: Mundiprensa.
- Brook, R., Cascio, W., Franklin, B., Hong, Y., Howard, G., Lipsett, M., . . . Tager, I. (2004). Air Pollution and Cardiovascular Disease: A Statement for Healthcare Professionals From the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *AHA Scientific Statement*.
- Brook, R., Franklin, B., Cascio, W., Hong, Y., Howard, G., Lipsett, M., . . . Tager, I. (2004). Air Pollution and Cardiovascular Disease: A Statement for Healthcare Professionals From the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *AHA Scientific Statement*.
- Bruse, M., Thönnessen, M., & Radtke, U. (2004). *Practical and theoretical investigation of the influence of facade greening on the distribution of heavy metals in urban streets*. Centre for Subtropical Design, International Conference. on Urban Climatology., Sydney. Recuperado el 15 de marzo de 2018 de <http://envi-met.net/documents/papers/facade1999.pdf>

- Cantoni, N. M. (2009). Técnicas de muestreo y determinación del tamaño de la muestra en investigación cuantitativa. *Revista Argentina de Humanidades y Ciencias Sociales*. Recuperado el 05 de marzo de 2018 de doi:ISSN 1669-1555
- CASELLA. (2017). *HB4048-01, Manual de Usuario*. Recuperado el 25 de marzo de 2018 de http://www.casellasolutions.com/uk/en/document-library/support-docs/spanish/cel-71x-user-manual_es01.pdf
- Cavaleiro, J., Joana Madureirac, Teixeira, J., Moreira, A., & de Oliveira, E. (2016). Indoor air quality and atopic sensitization in primary schools: A follow-up study. *Porto Biomedical Journal*.
- CEPAL. (2003). *Ciudad Inclusiva*. Santiago de Chile. Recuperado el 05 de abril de 2018 de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/27824/S2003002_es.pdf
- CORPAIRE. (2009). *La Calidad del Aire en Quito*. Quito. Recuperado el 15 de abril de 2018 de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/iqca_2009.pdf
- Curtis, L., & Stuart, M. (2010). *Enhancing CHBE Indoor Air Quality: Biowall Technology*. University of British Columbia.
- Darlington, A. D., & Dixon, M. (2001). *The Biofiltration of indoor air: air flux and temperature influence the removal of toluene, ethylene and xylene*.
- EPA. (2003). *A Standardized EPA Protocol for Characterizing Indoor Air Quality in Large Office Buildings*. Washington, DC.
- EPA. (2006). *Fuel Economy Labeling of Motor Vehicles: Revisions To Improve Calculation of Air Quality*. Recuperado el 15 de abril de 2018 de <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-fuel-economy-labeling-motor-vehicles-revisions>

- EPA. (2017). *Carbon Monoxide (CO) Pollution in Outdoor Air*. Recuperado el 25 de abril de 2018 de <https://www.epa.gov/co-pollution>
- EPA. (2017). *Nitrogen Dioxide (NO2) Pollution*. Recuperado el 25 de abril de 2018 de <https://www.epa.gov/no2-pollution>
- EPA. (2017). *Particulate Matter (PM) Basics*. Recuperado el 25 de abril de 2018 de <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- EPA. (2017). *Sulfur Dioxide (SO2) Pollution*. Recuperado el 25 de abril de 2018 de <https://www.epa.gov/so2-pollution>
- European Commission. (2014). Guidelines for healthy environments within European schools. Recuperado el 25 de abril de 2018 de <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/guidelines-healthy-environments-within-european-schools>
- Fernández, R., Pérez, N., Quevedo, S., Pérez, L., & Franco, A. (2008). Ajardinamiento de fachadas y jardines verticales: otras formas de jardinería aplicadas a un desarrollo urbano más sostenible. *Actas de Horticultura n°52. Innovación y futuro en la jardinería*.
- González, A. (2015). Guía General de Material Particulado como Contaminante Ambiental y sus Efectos Adversos. *Eliminación de Partículas*. Quito.
- INAMHI. (2016). *Boletín Climatológico Anual 2015*. Recuperado el 05 de marzo de 2018 de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/clima/>
- Jain, R., & Janakiram, T. (2016). Vertical Gardening: A New Concept of. *New India Publishing Agency*, 527-536.
- Lagares Barreiro, P., & Puerto Albandoz, J. (S.F). *Población y muestra. Técnicas de muestreos*. Recuperado el 15 de marzo de 2018 de https://www.google.com.ec/search?ei=VUJIWs6BGcOSzwLv4pPYBQ&q=http%3A%2F%2Foptimierung.mathematik.uni-kl.de%2Fmamaeusch%2Fveroeffentlichungen%2Fver_texte%2Fsamplin

g_es.pdf&oq=http%3A%2F%2Foptimierung.mathematik.uni-
kl.de%2Fmamaeusch%2Fveroeffentlichungen%2

Li, L., Adamkiewicz, G., Zhang, Y., Spengler, J., Qu, F., & Sundell, J. (2015). *Effect of Traffic Exposure on Sick Building Syndrome Symptoms among Parents/Grandparents of Preschool Children in Beijing, China*. Recuperado 25 de abril de 2018 de doi:10.1371/journal.pone.0128767

Loh, S. (2008). BEDP Environmetn Design Guide. *Living Walls - A Way To green The Built Environment*.

Maddalena, R., Mendell, M., Eliseeva , K., Chan, W., Sullivan, D., Russell, M., . . . Fisk, W. (2014). *Effects of ventilation rate per person and per floor area on perceived air quality, sick building syndrome symptoms, and decision-making*. INDOOR AIR. Recuperado el 25 de abril de 2018 de doi:10.1111/ina.12149

MAE. (2011). Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire. Recuperado de 15 de marzo de 2018 de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>

Midgley, P., Reuther, M., & Williams, M. (2013). *Transport and Chemical Transformation in the Troposphere*. Recuperado de 25 de marzo de 2018 de <https://books.google.com.ec/books?id=FO-PBAAAQBAJ&lpg=PP1&hl=es&pg=PT22#v=onepage&q=dispersion&f=false>

Ministerio de Salud Publica del Ecuador. (2011). *Datos esenciales de salud: Una mirada a la década 2000 - 2010*. Recuperado de 25 de marzo de 2018 de <http://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/Datos-esenciales-de-salud-2000-2010.pdf>

Morales, I. M., Acevedo, V. B., & Nieto, A. G. (2010). *Calidad del Aire interior en edificios de uso público*. Madrid.

Navarro, J. (2013). *Los Jardines Verticales en la Edificación*. Valencia.

- NNUU. (2015). *Objetivos del desarrollo sostenible*. Recuperado el 15 de abril de 2018 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- OMS. (2005). *Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide*. Geneva: World Health Organization. Recuperado el 15 de abril de 2018 de http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf;jsessionid=DAEF604C6AD346191143B8C4227D0191?sequence=1
- OMS. (2016). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. Recuperado el 15 de abril de 2018 de www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/
- Páez, C. (2010). *GESTIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA*. Recuperado el 15 de abril de 2018 de <http://www.flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/10088.ContaminacionQuito.pdf>
- Prescod, F. (2011). *The Biowall: A natural air-cleaning system*. Recuperado el 15 de abril de 2018 de <https://landscapeontario.com/the-biowall-a-natural-air-cleaning-system>
- Schmidt, M. (2006). The evapotranspiration of greened roofs and façades. . *Fourth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference*, 1-10.
- Secretaría de Ambiente. (2016). *Índice quiteño de Calidad de Aire*. Recuperado el 25 de marzo de 2018 de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/iqca.pdf
- Secretaria de Ambiente. (2017). *Informe de la Calidad de Aire 2016*. Quito. Recuperado el 25 de marzo de 2018 de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/ICA2016.pdf

Suarez, M. O. (2011). *Cálculo del tamaño de la muestra*. Ibarra, Ecuador: Universidad Tecnica del Norte. Recuperado el 15 de marzo de 2018 de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/765>

Thermo FisherScientific INC. (2007). *FH62C14, Instruction Manual, Continuous Ambient Particulate Monitor*. Recuperado el 15 de marzo de 2018 de <http://unitylabservices.info/content/dam/tfs/ATG/EPD/EPD%20Documents/Product%20Manuals%20&%20Specifications/Air%20Quality%20Instruments%20and%20Systems/Particulate/EPM-manual-FH62C14.pdf>

Zhang , X., Li, F., Zhang , L., Zhao, Z., & Norback, D. (2014). *A Longitudinal Study of Sick Building Syndrome (SBS) among Pupils in Relation to SO₂, NO₂, O₃ and PM₁₀ in Schools in China*. PLoS ONE 9(11): e112933. Recuperado el 25 de abril de 2018 de doi:10.1371/journal.pone.0112933

