



UNIVERSIDAD ESAN

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Determinación de la capacidad de absorción de material particulado y nitrógeno en la especie briófito *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja, Lima-Perú

Tesis para optar el Título de Ingeniera en Gestión Ambiental que presenta:

Carmen Paola Balladares Zevallos – DNI 70332128

Asesor: Dr. MSc. Ing. Jesús Marino Falcón Roque – DNI 41224392

Lima, marzo de 2021

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE MATERIAL
PARTICULADO Y NITRÓGENO EN LA ESPECIE BRIÓFITA PLEUROZIUM
QUITENSE EN EL DISTRITO DE SAN BORJA, LIMA-PERÚ

Esta Tesis denominada:

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE MATERIAL
PARTICULADO Y NITRÓGENO EN LA ESPECIE BRIÓFITA
PLEUROZIUM QUITENSE EN EL DISTRITO DE SAN BORJA, LIMA-PERÚ**

ha sido aprobada.



.....
Ing. Victoria Doris Calle Montes
(Jurado presidente)



.....
Ing. Juan Martín Angulo Escudero
(Jurado)



.....
Ing. Roberto Leonardo Tello Yuen
(Jurado)

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por su amor, bondad y protección durante toda mi formación personal y profesional. También agradezco a mi mamá por ser el impulso, la energía y el modelo clave para el inicio de mis proyectos y desarrollo personal. Agradezco a mi papá por sus consejos, dedicación y sabiduría que son eje para mi madurez profesional. Asimismo, doy gracias a mis abuelos Teófila y Antonio por sus enseñanzas y empeño en formar mejores personas para esta sociedad. Finalmente, agradezco a toda mi familia, amigos y profesores por creer en mí.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas y profesionales que quieren ser voz de los que no pueden hablar y fuerza de los que no pueden luchar, para que juntos seamos guerreros frente a los impactos del cambio climático y logremos proteger nuestro hogar.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	4
1.2. Formulación del Problema.....	5
<i>1.2.1. Problema General.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.2. Problemas Específicos.....</i>	<i>6</i>
1.3. Objetivos de la Investigación.....	6
<i>1.3.1. Objetivo General.....</i>	<i>6</i>
<i>1.3.2. Objetivos Específicos.....</i>	<i>6</i>
1.4. Justificación de la Investigación.....	6
<i>1.4.1. Teórica.....</i>	<i>6</i>
<i>1.4.2. Práctica.....</i>	<i>7</i>
<i>1.4.3. Metodológica.....</i>	<i>7</i>
1.5. Delimitación del Estudio.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	9
<i>2.1.1. Tesis relacionadas.....</i>	<i>9</i>
<i>2.1.2. Artículos relacionados.....</i>	<i>11</i>
2.2. Bases teóricas.....	14
<i>2.2.1. Contaminación atmosférica en áreas urbanas.....</i>	<i>14</i>
<i>2.2.1.1. Principales contaminantes atmosféricos.....</i>	<i>15</i>
<i>2.2.1.2. Calidad del aire.....</i>	<i>15</i>
<i>2.2.1.3. Salud pública.....</i>	<i>16</i>
<i>2.2.1.4. Factores incidentes en la contaminación atmosférica.....</i>	<i>17</i>
<i>2.2.2. Material Particulado (PM_x).....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.2.1. Material Particulado de diámetro menor a 10 µg (PM₁₀).....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.2.2. Material Particulado de diámetro menor a 2.5 µg (PM_{2.5}).....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.3. Nitrógeno atmosférico.....</i>	<i>21</i>
<i>2.2.3.1. Óxidos de nitrógeno (NO_x).....</i>	<i>22</i>
<i>2.2.3.2. Dióxido de nitrógeno.....</i>	<i>22</i>
<i>2.2.4. Briófitas.....</i>	<i>23</i>
<i>2.2.5. Musgos (Bryophyta sensu stricto).....</i>	<i>24</i>
<i>2.2.5.1. Morfología.....</i>	<i>24</i>
<i>2.2.5.2. Fisiología.....</i>	<i>25</i>

2.2.5.3. <i>Nutrición vegetal</i>	25
2.2.5.4. <i>Ciclo de nitrógeno</i>	27
2.2.5.5. <i>Factores que inciden en el desarrollo y crecimiento de la especie</i>	27
2.2.5.6. <i>Ciclo de vida</i>	28
2.2.5.7. <i>Distribución en Lima y Perú</i>	28
2.2.5.8. <i>Estado de conservación</i>	28
2.2.5.9. <i>Pleurozium quitense</i>	29
2.2.6. Descripción de las especies de comparación	30
2.2.7. Capacidad de adsorción y absorción	31
2.2.8. Objetivos del desarrollo sostenible	31
2.3. Marco Conceptual o contexto de Investigación	32
2.4. Hipótesis	34
2.4.1. <i>Hipótesis General</i>	34
2.4.2. <i>Hipótesis Específica</i>	34
2.4.3. <i>Variables e indicadores</i>	34
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.1. Diseño de Investigación	35
3.1.1. <i>Diseño de la investigación</i>	35
3.1.2. <i>Tipo o nivel de investigación</i>	36
3.1.3. <i>Enfoque</i>	36
3.2. Población y Muestra	36
3.3. Instrumentos de Medida	38
3.3.1. <i>Análisis en laboratorio</i>	38
3.3.2. <i>Data de calidad ambiental de aire</i>	40
3.3.3. <i>Software de procesamiento de data</i>	43
3.4. Operacionalización de Variables	44
3.5. Técnicas de Recolección de Datos	44
3.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la Información	44
3.7. Cronograma de actividades y presupuesto	45
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL EXPERIMENTO	47
4.1. Etapa de pre-campo:	47
4.1.1. <i>Selección de la especie de investigación</i>	48
4.1.2. <i>Selección de la estructura de soporte y rejillas</i>	49
4.1.3. <i>Selección de los puntos de monitoreo</i>	50
4.2. Etapa de campo:	52
4.2.1. <i>Instalación y monitoreo de las placas</i>	52
4.2.2. <i>Tratamiento de las muestras</i>	52

4.3. Etapa de laboratorio	53
4.3.1. <i>Determinación de nitrógeno total mediante el método Kjeldahl</i>	53
4.3.2. <i>Determinación de sólidos totales mediante el Método del “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”</i>	55
4.3.3. <i>Mapa de aptitud de ubicación para Pleurozium quitense</i>	56
4.4. Etapa de análisis	58
4.4.1. <i>Tratamiento de los resultados de laboratorio</i>	58
4.4.2. <i>Tratamiento de la data meteorológica y de calidad de aire</i>	58
CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
5.1. Resultados de laboratorio	59
5.2. Resultados de calidad de aire	60
5.3. Resultados del mapa de aptitud de ubicación	65
5.4. Discusión de resultados	66
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
6.1. Conclusiones	70
6.2. Recomendaciones	71
FUENTES DE INFORMACIÓN	72
ANEXO 1: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	76
ANEXO 2: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN	88
ANEXO 3: PLANOS, RESULTADOS DE LABORATORIO Y OPINIÓN DE EXPERTOS	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contaminantes atmosféricos	15
Tabla 2. Efectos de contaminantes atmosféricos en la salud pública	16
Tabla 3 Factores meteorológicos que afectan la dispersión de contaminantes.....	17
Tabla 4 Factores topográficos y su incidencia en el flujo de aire y zonas de monitoreo.....	19
Tabla 5 Grupos de briófitas.....	23
Tabla 6 Morfología del musgo.....	25
Tabla 7 Descripción de las variables, dimensiones e indicadores	35
Tabla 8 Descripción de la población y unidad de muestreo	37
Tabla 9 Descripción de la unidad de análisis y delimitación temporal.....	38
Tabla 10 Operacionalización de las variables.....	44
Tabla 11 Cronograma de actividades de la investigación.....	45
Tabla 12 Inversión en la investigación realizada	46
Tabla 13 Planos de estructura y estructura en dimensión real	50
Tabla 14 Ubicación y puntos de muestreo	51
Tabla 15 Resultados de análisis de nitrógeno método Kjeldahl y criterios de ponderación de importancia	57
Tabla 16 Resultados de análisis de nitrógeno método Kjeldahl	59
Tabla 17 Resultados estadísticos de dióxido de nitrógeno atmosférico y nitrógeno total	59
Tabla 18 Resultados de análisis de sólidos totales.....	60
Tabla 19 Resultados de análisis de sólidos totales en <i>Schinus terebinthifolius</i> y <i>Aptenia cordifolia</i>	60
Tabla 20 Ubicación de los puntos de muestreo	76
Tabla 21 Matriz de consistencia	76
Tabla 22 Pruebas de normalidad.....	79
Tabla 23 Pruebas estadísticas paramétricas	80
Tabla 24 Rosa de contaminantes.....	81
Tabla 25 Interpolación de NO ₂	83
Tabla 26 Validación de la matriz de Saaty, experto 1	85
Tabla 27 Validación de la matriz de Saaty, experto 2	85
Tabla 28 Validación de la matriz de Saaty, 3	86
Tabla 29 Registro fotográfico del desarrollo de investigación	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Nitrógeno atmosférico reactivo	21
Figura 2 Diagrama del proceso del trabajo de investigación	47
Figura 3 Fases resumidas del método Kjeldahl	54
Figura 4 Fases resumidas del método Sólidos Totales	55
Figura 5 Histograma y serie de tiempo de PM _{2.5}	61
Figura 6 Histograma y serie de tiempo de PM ₁₀	62
Figura 7 Histograma y serie de tiempo de NO ₂	62
Figura 8 Histograma y meteorograma de Temperatura	63
Figura 9 Histograma y meteorograma de Humedad Relativa.....	63
Figura 10 Rosa de vientos.....	64
Figura 11 Rosa de contaminantes	64
Figura 12 Correlación de variables meteorológicas y de calidad de aire	65
Figura 13 Mapa de aptitud de ubicación.....	66
Figura 14 Ubicación de los puntos de monitoreo qHawax	84
Figura 15 Interpolación de NO ₂ en el distrito de San Borja	84
Figura 16 Interpolación de NO ₂ de las estaciones qHawax	85
Figura 17 Descripción del proyecto CityTree de GreenCitySolutions	87

RESUMEN

Los musgos son especies briófitas empleadas principalmente como bioindicadores en zonas urbanas debido a su óptima capacidad de reflejar alteraciones en la calidad del aire de su entorno. Asimismo, su morfología, fisiología y alta resiliencia los convierte en organismos idóneos para acumular y absorber ciertos contaminantes atmosféricos y transformarlos en fitomasa mediante proceso metabólicos. Estas características los distinguen de otras especies vegetales y líquenes puesto que estas últimas solo adsorben contaminantes aéreos por un lapso determinado y luego los vuelven a expulsar al ambiente o bien provocan un rápido deterioro en su estructura vegetal. Considerando estos análisis, el presente trabajo de investigación determinó la capacidad de absorción de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) y nitrógeno total en la especie *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja, mediante los métodos de Sólidos Totales del “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” y Nitrógeno total por “Método Kjeldahl”, respectivamente, durante un periodo de cuatro semanas (setiembre- octubre 2020) y bajo un análisis temporal. Los resultados obtenidos demuestran que la especie de estudio presenta diferencia significativa menor en absorción de material particulado frente a la especie rastrera *Aptenia cordifolia* y arbórea *Schinus terebinthifolius*, las cuales son empleadas en parques y áreas verdes a nivel distrital de Lima.

Palabras clave: Musgo, *Pleurozium quitense*, capacidad de absorción, material particulado, nitrógeno, contaminación atmosférica

ABSTRACT

Mosses are bryophyte species used mainly as bioindicators in urban areas due to their optimal ability to reflect alterations in air quality. Likewise, their morphology, physiology and high resilience make them ideal organisms to accumulate and absorb certain atmospheric pollutants and transform them into phytomass through metabolic processes. These characteristics distinguish them from other plant species and lichens because they just adsorb air pollutants for a certain period and then expel them back into the environment or cause a rapid deterioration in their structure. Considering these analyses, the present research work determined the absorption capacity of particulate material and nitrogen in *Pleurozium quitense* specie in the district of San Borja, using the Total Solids methods of the “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” and Total nitrogen by “Kjeldahl Method”, respectively, during a period of four weeks (September-October 2020) and under a temporal analysis. The results showed that the study specie has a significantly lower absorption capacity of particulate material compared to *Aptenia cordifolia* specie and *Schinus terebinthifolius* specie, which are used currently in the parks and green areas at Lima.

Keywords: Moss, *Pleurozium quitense*, absorption capacity, particulate matter, nitrogen, air pollution

INTRODUCCIÓN

Los impactos ambientales ligados al crecimiento urbano están enlazados directamente a una elevada concentración de contaminantes atmosféricos y ausencia de áreas verdes (Bozzo, 2015), siendo el material particulado y los óxidos de nitrógeno los de mayor emisión y distribución en la atmósfera. Del mismo modo, este impacto en el ecosistema urbano repercute negativamente en la salud pública, desencadenando principalmente estados proalérgicos, bronquitis (Caraballo, 2012) hasta trastornos en el embarazo (Bizarro-Nevarés et al., 2018) en los ciudadanos. Teniendo en cuenta este escenario, se planteó determinar la capacidad de absorción (Splittgerber & Saenger, 2015) de dichos contaminantes objetivo mediante la exposición de doce (12) muestras de la especie briófito *Pleurozium quitense* durante un periodo de cuatro (04) semanas en dos (02) puntos de muestreo del distrito de San Borja a condiciones ambiente. Es así que los resultados de esta investigación aportan conocimiento científico sobre el empleo de la briófito *Pleurozium quitense* como especie óptima para la absorción de material particulado y nitrógeno (enfocado en su forma oxidada: NO₂) aplicado en zonas urbanas emplazadas en ecosistemas hiperáridos: Lima como segunda mega metrópoli ubicada en un desierto después de El Cairo, Egipto. Así mismo, esta investigación aporta conocimiento científico para abordar los Objetivos de Desarrollo Sostenible 3 (Salud y bienestar), 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y 13 (Acción por el clima) de la Agenda 2030, debido al uso de una especie que contribuye a mitigar el cambio climático en áreas urbanas y a impulsar su conservación y preservación en las zonas altoandinas de nuestro país.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

El contexto político y económico en el cual se desarrollan los países en vías de desarrollo de América Latina juega un papel importante en la gestión pública ambiental que se ejerce sobre estos lugares. Los altos índices de contaminación atmosférica, niveles de ruido inaceptables, insalubridad pública y enfermedades respiratorias son los principales efectos de esta ineficiencia pública. A nivel local, se detallan cinco (05) aspectos claves a tener en cuenta para poder paliar objetivamente esta ineficiencia.

En ese sentido, el (i) primer aspecto está relacionado con el gasto público ambiental de Lima, el cual fue presentado en el Anuario de Estadísticas Ambientales del Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI, 2019), con un porcentaje del 1.91% del gasto total presupuestados, lo cual lo situó en el doceavo puesto entre los departamentos con menor inversión en este ámbito. Además, resaltó que diecisiete (17) de sus municipalidades distritales no realizaron conservación de sus áreas verdes durante el año 2017, lo cual lo ubicó como el segundo departamento con mayor déficit de gestión ambiental a nivel distrital. De ello se infiere que la gestión pública ambiental en Lima aún es ínfima.

Por otro lado, el (ii) segundo aspecto está relacionado con la escasez de áreas verdes urbanas. Según el portal del Sistema Nacional de Información Ambiental (Ministerio del Ambiente, 2018), Lima provincia tiene un promedio per cápita de áreas verdes de 4.89 m²/habitante (promedio aritmético del periodo 2016-2018), mientras que la Organización Mundial de la Salud recomienda al menos 9,02 m²/habitante y la Organización de las Naciones Unidas, 16 m²/habitante para obtener una calidad de aire y desarrollo humano óptimo. Considerando dicho preámbulo, se tiene que solo nueve (09) de los cuarenta y tres (43) distritos de la provincia de Lima logran superar la recomendación de la OMS (Bozzo, 2015). A ello se colige, el (iii) tercer aspecto que limita su expansión; es decir, la ineficacia en los procesos de ordenamiento territorial (OT, en lo sucesivo). Según el coordinador general del Plan Metropolitano de Desarrollo Urbano de Lima y Callao 2035, la disparidad significativa de áreas verdes per cápita entre distritos como San Isidro, que cuenta con 18.2 m²/habitante, y Villa María del Triunfo, con apenas 1.2 m², se fundamenta en que las municipalidades distritales como la primera lograron una transición de ocupación territorial formal y planificada, mientras que los otros tuvieron una planificación deficiente y con ausencia de una cuota mínima de espacio para áreas verdes urbanas (Bozzo, 2015); es decir, se priorizó el crecimiento urbano

mas no el desarrollo de este. Asimismo, la ubicación geográfica de Lima contribuye a agudizar esta problemática, debido a que ésta es la segunda mega metrópoli ubicada en un desierto, después de El Cairo, Egipto. Por lo cual lograr un manejo ambiental eficaz en este ecosistema desértico llega a ser un gran desafío, y más aún que en esta urbe se asienta el 30% de toda la población nacional (Aquafondo, 2015).

A nivel de percepción poblacional se encuentra el cuarto (iv) aspecto relevante, los resultados del noveno informe de percepción de calidad de vida en Lima y Callao realizado por Lima Cómo Vamos (Instituto de Opinión Pública de la PUCP, 2018) concluyeron que la contaminación vehicular (70.9%) y la falta de árboles y mantenimiento de áreas (38.7%) verdes son los dos problemas ambientales más relevantes que se perciben en el área urbana de Lima.

Por último, los impactos sinérgicos de los cuatro aspectos clave precedentes convergen en el quinto (v), el cual tiene consecuencias fácticas relacionadas con la salud pública. Los aspectos previos (ineficiencia en la gestión pública ambiental, escasez de áreas verdes urbanas, limitantes de OT y contaminación urbana) han incitado un incremento en la concentración de contaminantes aéreos, como el material particulado y óxidos de nitrógeno, principalmente. Dichos compuestos no solo provocan un aumento en la tasa de morbilidad de los ciudadanos, sino también en la de mortalidad de éstos por enfermedades respiratorias (Oyarzún, 2010), además de la eutroficación del ambiente como efecto de su permanencia (Špirić, Stafilov, Vučković, & Glad, 2014).

En función del anterior análisis, se demuestra que la problemática tiene una complejidad particular a nivel de Lima metropolitana, puesto que las soluciones que se proyecten realizar deben implicar acciones sostenibles de adaptación.

1.2. Formulación del Problema.

El *statu quo* de Lima a nivel de gasto público ambiental, ratio de áreas verdes urbanas/habitante, ordenamiento territorial, contaminación atmosférica y detrimento de la salud pública ha conllevado a proponer diversas soluciones que permitan combatir esta ineficiencia sinérgica. Es en ese sentido esta investigación direccionó su desarrollo a plantear una solución no destructiva y perdurable mediante el uso de una especie vegetal versátil, resiliente y mucho más eficiente en la remoción de contaminantes atmosféricos en comparación a la masa vegetal actual del ecosistema urbano de Lima, ciudad que no permite instaurar o expandir las áreas verdes existentes. Considerando ello se detallan los siguientes problemas y objetivos que guiarán la presente investigación:

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la capacidad de absorción de material particulado y nitrógeno, bajo los indicadores de concentración de material particulado y nitrógeno total, en la especie *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja en los meses de setiembre y octubre?

1.2.2. Problemas Específicos.

¿Cuál es la relación entre el dióxido de nitrógeno atmosférico y el nitrógeno total en la especie *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja en los meses de setiembre y octubre?

¿Es mayor la capacidad de absorción de material particulado en la especie *Pleurozium quitense* frente a la especie arbórea *Schinus terebinthifolius* y la rastrera *Aptenia cordifolia*?

¿Cuál es la ubicación óptima para la localización de muros verticales de la especie *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja?

1.3. Objetivos de la Investigación.

1.3.1. Objetivo General

Estimar la capacidad de absorción de material particulado y nitrógeno, bajo los indicadores de concentración de material particulado y nitrógeno total, en la especie *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja en los meses de setiembre y octubre.

1.3.2. Objetivos Específicos

Estimar la relación entre el dióxido de nitrógeno atmosférico y el nitrógeno total en la especie *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja en los meses de setiembre y octubre.

Determinar qué especie tiene mayor capacidad de absorción de material particulado entre la briófita *Pleurozium quitense*, la arbórea *Schinus terebinthifolius* y la rastrera *Aptenia cordifolia*.

Determinar la ubicación óptima para la localización de muros verticales de *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja.

1.4. Justificación de la Investigación

1.4.1. Teórica

La presente investigación aporta conocimiento científico sobre el empleo de la briófita *Pleurozium quitense* como especie óptima para la absorción de material particulado y nitrógeno total aplicado a zonas urbanas emplazadas en ecosistemas hiperáridos, como Lima (precipitación menor a 25 mm/año, suelo arenoso, escasas áreas de vegetación, presencia de

cactáceas, rango altitudinal: 0-1800 msnm).

Actualmente, las especies de musgo presentan una alta demanda como bioindicadores de calidad atmosférica debido a su adaptabilidad a diversas zonas climáticas, eficiencia en absorción de analitos y a la amplia distribución geográfica que poseen. Sin embargo, el condicionante para el empleo de este tipo de briófito radica en el reducido número de especialistas o briólogos en América del Sur que investigan acerca de estos individuos. Por otro lado, los antecedentes analizados evidencian la capacidad de utilizar este tipo de briófito como especie biorremediadora de la calidad atmosférica, por lo cual se ha adaptado investigaciones internacionales a las condiciones de nuestro país y a la oferta biológica de estas especies en nuestro territorio. Por ello, los resultados de esta investigación marcan un hito en la investigación de esta especie briófito en un escenario de investigación crítico y complejo debido a factores de estrés hídrico, ineficiencia de gestión ambiental municipal y ordenamiento territorial caótico en el cual se desarrolla Lima.

1.4.2. Práctica

La investigación determina la capacidad de absorción de material particulado y nitrógeno en la especie *Pleurozium quitense*. Al considerar el desarrollo de la fase experimental en un contexto real y presentar un mapa de aptitud para localizar muros de musgo, las municipalidades distritales podrán considerar esta propuesta como una opción para mejorar la calidad atmosférica local y lograr cumplir con las cuotas de áreas verdes recomendadas por los organismos internacional y nacionales, ello en el sentido de reducir la concentración de contaminantes atmosféricos.

1.4.3. Metodológica

Se aplicaron metodologías de investigaciones científicas nacionales e internacionales relacionadas a la determinación de los contaminantes de interés en diferentes especies vegetales y en briófitos. De dicha revisión, se determinó las dos (02) metodologías más empleadas para determinar los contaminantes objetivo en especies vegetales, siendo estas las pruebas de Kjeldahl y Sólidos Totales a 103-105 °C del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* como las más precisas y adecuadas para la investigación. Asimismo, se ha adoptado dos (02) estructuras o parantes para poder exponer las doce (12) muestras en triplicata (se replica 3 veces el experimento en el mismo punto) al ambiente. Por otro lado, se ha tratado la data estadísticamente, a través del uso de pruebas paramétricas (Shapiro Wilk y Pearson) para determinar la validez y significancia establecidos en los objetivos.

Por otro lado, se empleó esta especie de musgo teniendo en cuenta que el género *Pleurozium* consume y absorbe una alta cantidad de elementos traza y nutrientes directamente de la deposición seca y húmeda con muy poco consumo de estos del sustrato (Špirić et al., 2014) respecto a otras especies vegetales. Asimismo, el uso de plantas con flores u otras vasculares no es efectivo en la absorción de contaminantes, en razón de que la fisiología de estas no permite que fijen de forma permanente dichas partículas y como resultado de la resuspensión, estas retornan a la atmósfera después de un periodo (Splittgerber & Saenger, 2015).

1.5. Delimitación del Estudio

La investigación se delimita en tres (03) términos: espacial, temporal y conceptual. Respecto al aspecto (i) espacial, la fase experimental del estudio se emplazó dentro de los límites políticos de la Municipalidad Distrital de San Borja puesto que dentro de este distrito se ubica la estación meteorológica “San Borja”, monitoreada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (en adelante, Senamhi) y dos (02) estaciones de monitoreo de calidad de aire operadas por Grupo Qaira S.A.C y Smart IOT group. Además, los puntos de muestreo se ubicaron considerando las características idóneas en términos de seguridad, flujo de tránsito y dirección de la principal fuente emisora: el parque automotor. Por otro lado, esta municipalidad tiene supeditado el órgano de línea “Gerencia de medio ambiente y sostenibilidad”, el cual, según su Reglamento de Organización y Función, tiene entre sus funciones dirigir y ejecutar proyectos relacionados con la calidad ambiental y establecer medidas de mitigación, minimización o eliminación que alteren el ambiente o salud pública; por lo cual, se hizo factible poder tramitar los permisos administrativos necesarios, recibir apoyo activo y considerarlo como potencial actor con apertura a considerar proyectos innovadores en pro de mejorar la salud pública y ambiental.

Por otro lado, se delimitó (ii) temporalmente la investigación a un periodo de cuatro (04) semanas para la recolección y análisis de los puntos de muestreo basado en criterios metodológicos recopilados de estudios previos (Ares et al., 2012) y, también en base a los diferentes antecedentes de investigación revisados.

Finalmente, esta investigación se delimita (iii) conceptualmente mediante la utilización de musgos para evidenciar su eficiencia de absorción de dos (02) contaminantes atmosféricos con más relevancia e incidencia en la calidad del aire urbano, cuyos resultados darán apertura a futuras investigaciones relacionados al mejoramiento de calidad atmosférica a través de proyectos que empleen musgo como barrera viva y/o biofiltro atmosférico, considerando una

gestión sostenible de este recurso vegetal.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

En esta sección se presentan los estudios precedentes (tesis y artículos científicos) a nivel nacional e internacional los cuales proporcionaron una sólida base para el desarrollo y justificación de la presente investigación en términos metodológicos, teóricos y experimentales.

2.1.1. Tesis relacionadas

Capacidad de adsorción de material particulado de la especie arbórea *Ficus Benjamina* en el parque zonal “Mayta Cápac”, San Martín de Porres (Angulo, 2018)

Esta tesis de titulación se desarrolló bajo el principal objetivo de determinar la capacidad de adsorción de material particulado en la especie arbórea *Ficus benjamina* mediante un análisis de laboratorio de las muestras de hojas de dicha especie y la comparación de la sedimentación de dicho parámetro en placas Petri (10 cm x 10 cm). Se ubicaron tres (03) placas por cada parante (a una altura de 0.30 m, 0.95 m y 1.60 m.) y en áreas con diferente densidad de follaje (ralo, intermedio, denso) de la especie en evaluación durante un periodo de muestreo de treinta (30) días, noviembre del 2017. El lugar de la investigación fue el parque zonal Mayta Cápac, distrito de San Martín de Porres. De otro lado, el método empleado para determinar los sólidos totales fue el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA*, el cuál fue desarrollado en el laboratorio Envirotest.

El resultado de la investigación demostró que la especie arbórea estudiada aumenta su capacidad de adsorción en 16.8 veces más cuando presenta un follaje frondoso frente a los de follaje ralo. En equivalencias se demostró que 100 individuos de follaje frondoso equivalen a 425 de follaje intermedio y a 1620 de follaje ralo.

Estimación de la capacidad de adsorción del material particulado del aire en dos especies ornamentales (*Cytisus canariensis*, *Malva sylvestris*) en la ciudad de Puno, 2018 (Phocco, 2019)

El principal objetivo de esta tesis de maestría fue determinar la concentración y composición de material particulado en las especies *Cytisus canariensis* y *Malva sylvestris* durante un periodo de exposición de 30 días (mes de noviembre del 2018) y considerando el tiempo de permanencia de las hojas en el individuo vegetal.

Se utilizó la metodología de Sólidos totales del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 14th.*, así como la técnica de espectroscopia de plasma ICP-OES para la determinación de la composición de material particulado para las matrices de Al, As, Ba, Cd, Co, Cu, Pb, Mn, Mo, K, Se, Sr, Zn.

Se concluyó que la especie *Malva sylvestris* concentra una mayor capacidad de absorción de material particulado frente a la especie *Cytisus canariensis*. Por otro lado, se concluyó también que la especie *Malva sylvestris* demostró una mayor eficiencia significativa en la adsorción de manganeso, aluminio y arsénico, principalmente.

Determinación de la capacidad de adsorción de material particulado en el aire en una especie arbórea *Schinus terebinthifolius* y una rastrera *Aptenia cordifolia* en el condominio La Quebrada - Cieneguilla” (Chipoco & Valencia, 2015)

Esta tesis de titulación determinó de la capacidad de adsorción de dos especies vegetales y su relación con la cantidad de polvo atmosférico sedimentable (PAS, en lo sucesivo). Consideró tres (03) aspectos relacionados a la eficiencia de adsorción: características externas de las hojas, características la inserción de la hoja y los factores climáticos.

La metodología que se empleó para determinar la capacidad de adsorción de PAS se basó en la metodología “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” para el parámetro de Sólidos totales y sólidos suspendidos totales. Asimismo, se aplicaron las pruebas estadísticas de “Q de Dixon” y “t de Student” para el análisis de datos. A partir de ello, se determinaron los sólidos totales en cada especie.

Finalmente, los resultados indicaron que la especie arbórea “molle costero” presentó una capacidad de adsorción de material particulado de 1.18 mg/cm²/30d, la cual representa un 66.2% más con respecto a la capacidad de adsorción de las hojas de la especie rastrera “señorita” con 0.71 mg/cm²/30d. Concluyendo que una cobertura de la primera especie evita que material particulado precipite y contamine el ambiente urbano.

Tratamiento de emisiones a la atmósfera de acetato de etilo y tolueno mediante biofiltros de turba (Álvarez, 2009)

Este trabajo de investigación de tesis doctoral de la Universidad de Valencia, España, desarrolló una fase experimental mediante el empleo de turba, mezcla principalmente de musgo con otros compuestos orgánicos, para la depuración de aire con concentraciones de acetato de tolueno. Se suministró esporádicamente agua a los musgos en función de la carga volumétrica de aire de entrada (tiempo de residencia de 22-90 s en cada cilindro) para determinar su

capacidad de contaminación. Asimismo, se sometió la turba o lecho de relleno a un mantenimiento mínimo de humedad durante seis (06) meses aproximadamente para identificar la influencia en su rendimiento y compararlo con las condiciones de una alimentación en estado estacionario.

Para el desarrollo de la investigación, se establecieron distintos escenarios de alimentación durante cuatro (04) meses, en los cual se monitoreaban las condiciones de corriente entrante de aire contaminado y de las poblaciones de bacteria en el biofilm, película delgada puesta en la superficie de la turba. Finalizada dicha etapa, se empleó técnicas de análisis para determinar las concentraciones de analitos mediante cromatografía gaseosa, se determinó la concentración total de compuesto orgánicos volátiles mediante el análisis de hidrocarburos totales, tinción de las muestras.

Con los resultados de la investigación se concluyó que es posible un tratamiento eficaz de las emisiones industriales con presencia de acetato de etilo mediante biofiltros de turba como material de relleno si se controlan los caudales de aire de entrada, la potencia de los reactores y tiempos de residencia. Asimismo, se demostró que la turba permite un óptimo desarrollo de la biomasa (microorganismos) y excelente material de relleno para su uso como biofiltración.

2.1.2. Artículos relacionados

Nitrogen concentration in moss compared with N load in precipitation and with total N deposition in Switzerland (Kosonen, Thimonier, Schnyder, & Thöni, 2018)

El artículo de investigación en referencia tuvo como principal objetivo identificar cuál de los compuestos de nitrógeno atmosférico (gases o aerosoles, deposición húmeda o seca) influye en la concentración de nitrógeno en dos (02) tipos de especie de musgo en veinticuatro (24) muestras de 300 cm² distribuidas en estaciones de monitoreo ambiental en diversas regiones de Suiza.

La fase experimental comprendió un periodo de exposición de dos, distribuidas en periodos de cuatro semanas y un mes durante todo el año 2014 (debido a que se deseaba un registro anual); asimismo, las especies de musgo analizadas fueron *Hypnum cupressiforme* y *Pleurozium schreberi*.

Los resultados indicaron una correlación positiva significativa con los compuestos NH₄ - N y NO₃-N en precipitaciones y NH₃, mientras que se demuestra lo contrario para los compuestos de NO₂, HNO₃, NH₄ y NO₃ en aerosoles en el aire de las zonas no urbanas del área de estudio. Por lo tanto, varios compuestos de N contribuyen a la concentración de N en

musgos, con NH_4^+ y NO_3^- en precipitación y NH_3 en el aire siendo los más importantes en las zonas no urbanas de Suiza, mientras que NO_2 , HNO_3 y NH_4^+ y NO_3^- en aerosoles contribuyen menos al N que es absorbido por musgo, dentro de los sitios abarcados en el estudio.

Atmospheric particulate matter intercepted by moss-bags: Relations to moss trace element uptake and land use (Di Palma, Capozzi, Spagnuolo, Giordano, & Adamo, 2017)

Esta investigación se fundamentó en determinar la validez y significancia del uso de musgos (especie *Pseudoscleropodium purum*) como biomonitores de material particulado atmosférico, por lo cual expuso muestras de musgo en nueve (09) sitio de Europa para determinar la composición química y tamaño del material particulado interceptado por dichas muestras mediante la microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX) y la espectrometría masas por plasma acoplado inductivamente ICP-MS.

Los resultados de la investigación determinaron que existe una relación fuerte y significativa entre la cantidad de material particulado atmosférico y el contenido elemental de estos en la especie de musgo. Asimismo, la absorción del contaminante de interés incrementó en escenarios agrícolas (usos del suelo) y urbanos (polvo y parque automotor). Además, la eficacia de los musgos para captar partículas finas (<2,5 μm) apoya la importancia de su uso para el seguimiento de oligoelementos en el medio urbano para la protección de la salud pública.

Study of nitrogen pollution in Croatia by moss biomonitoring and Kjeldahl method (Špirić et al., 2014)

En este artículo científico se determinó la distribución de nitrógeno atmosférico en el 2006 y 2010 en el territorio de Croacia mediante el empleo de diversas especies de musgo. La relación entre la deposición de nitrógeno atmosférico y la concentración de nitrógeno en la especie evidencia que en varios estudios se determinaron correlaciones entre el contenido de N en el tejido de musgo y N atmosférico de $r^2=0.91$ en Suiza; así como, la mediana de las concentraciones de 1,21% y 1.06% en Macedonia y concentraciones más altas se determinaron en la zona este, centro y oeste de Europa, mientras que las más bajas en el norte de Finlandia y del Reino Unido.

La fase experimental se realizó en los periodos de julio a agosto del 2006 y los meses de verano e invierno del 2010, donde se recolectó noventa y ocho (98) muestras con predominancia de las especies *Hypnum cupressiforme*, *Pleurozium schreberi*, *Homalothecium sericeum*, *Hylocomium splendens* y *Brachythecium rutabulum*. Asimismo, se creó un mapa de

distribución espacial de nitrógeno mediante una interpolación en ArcMap 9.x (software ArcGIS) y distancia entre puntos de monitoreo de 23 x 23 km. Los resultados indicaron una relación lineal directa de 0.9990 para la determinación de este contaminante en las muestras de musgo y un valor medio de contenido de nitrógeno fue de 1.60% en 2006 (rango de 0.79% a 3.16%) y 1.49% en el 2010 (rango de 0.71% y 2.93%)

Finalmente, se concluyó que las variaciones altas indican una alta probabilidad de incremento en el uso de fertilizantes en la agricultura (forma de reducida del nitrógeno), asimismo, el mapa de distribución espacial puede servir para la administración local para asegurar el uso racional de fertilizantes y la aplicación de regulación normativa en las prácticas agrícolas. Asimismo, se concluye de manera general de los musgos son excelente biomonitores de bajo costo que determinan la deposición de nitrógeno atmosférico.

The CityTree: a vertical plant wall (Splittgerber & Saenger, 2015)

El objetivo principal de este proyecto es minimizar los riesgos de salud ocasionados por la contaminación atmosférica en los centros urbanos y ofrecer una solución sostenible a la problemática ambiental relacionada a la emisión de contaminantes atmosféricos de fuentes antropogénicas.

CityTree es un proyecto alemán que consiste en una pared vertical de musgo (2.9 m x 3.75 m x 0.65 m) que filtra el aire, enfría los ambientes cercanos (hasta 15 °C) y reduce el ruido. Según los estudios de laboratorio de la Universidad de Bonn en Alemania éste logra atraer y fijar las partículas PM_{5.5} y PM_{0.1} y convertirlas en fitomasa, por lo cual no es posible que retornen al aire, como sucede con la fijación temporal por las plantas vasculares. De la misma forma, dichos estudios han estimado una retención de 20 g/PM/m²/año. El sistema de riego que posee es de tipo semipermeable *single-top*, lo cual le permite adaptarse a edificios y estructura de forma vertical. Asimismo, se ha demostrado que éstas pueden ser combinadas con plantas vasculares (limitan el transporte de PM₁₀) para formar una simbiosis que permita mejorar la capacidad limpiadora de la atmósfera de esta estructura.

Finalmente, se ha demostrado una mejoría en la calidad de aire de las ciudades, especialmente en los *street canyons* o *urban canyons* (lugares rodeados por edificios por ambos lados, a modo de largos callejones, lo cual produce variaciones en la temperatura, velocidad y dirección del viento, luz y calidad de aire en el radio de recepción). Asimismo, la combinación con su potencial de exhibición de avisos publicitarios contribuye a la sostenibilidad de este proyecto como herramienta de marketing para las empresas.

Active monitoring with wet and dry moss: a case study in an urban area (Aničić et al., 2009)

Este artículo científico ha desarrollado un biomonitoreo activo de la calidad de aire en Belgrado, capital de Serbia, usando la técnica del *moss bag* con la especie de musgo *Sphagnum girgensohnii* en dos escenarios: con y sin irrigación; durante el periodo octubre 2005 y octubre 2006. La finalidad fue determinar la capacidad de acumulación de elementos traza, examinar el rol de las diferentes condiciones de humedad en la eficiencia de acumulación e investigar la influencia del tiempo de exposición en la acumulación de los diferentes contaminantes en cuestión por la especie elegida.

El factor de acumulación relativa (RAF, por sus siglas en inglés) se determinó a partir de la relación $RAF = (C_{final} - C_{inicial}) / C_{inicial}$, donde $C_{inicial}$ es la concentración del elemento antes de la exposición y C_{final} es la concentración posterior a esta. Se han determinado valores negativos de RAF (Cl, K, Rb, Cs) relacionados a la acumulación de metales pesados y los ciclos de desecación/hidratación en dicha especie briófito. El periodo de riego estuvo relacionado a las variables meteorológicas del área de estudio.

A modo de conclusión, los resultados demostraron que las muestras irrigadas evidencian mejor capacidad de acumulación de algunos elementos como Al, Cr, Fe, Zn y Sr, mientras que las concentraciones de Mn, Se y Br fueron constantes para los dos escenarios establecidos, y las concentraciones de los elementos Cl, K, Rb y Cs se redujeron más en medio húmedo. En relación con la tendencia temporal creciente, se demostró que se evidencia una tendencia de acumulación positiva creciente de los elementos Al, Sc, V, Cr, As, Sc, Ba, La, Ce, Sm, Th y U para ambos escenarios (seco y húmedo).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Contaminación atmosférica en áreas urbanas

De forma genérica y consensuada se ha definido la contaminación atmosférica como la presencia de materia, sustancias o energía en la atmósfera que provoca un potencial riesgo o daño en la salud y seguridad en los seres humanos, seres bióticos y el ambiente, a escala global, media y microescala, siendo los efectos de esta última los más contribuyentes al deterioro de la calidad del aire (Querol, 2018). Por otro lado, los contaminantes son todas aquellas sustancias introducidas indirecta y directamente por actividad antrópica en la atmósfera y son potencialmente perjudiciales en la salud humana, el ambiente o cualquiera de sus componentes (Sotelo, Sotelo, & Sotelo, 2017).

2.2.1.1. Principales contaminantes atmosféricos

En la Tabla 1. se puede observar los principales contaminantes aéreos clasificados de acuerdo con su origen, fuente de emisión y tipo.

Tabla 1.

Contaminantes atmosféricos

Contaminantes Atmosféricos					
Origen ¹		Fuente ²		Tipo ¹	
Primarios	Secundarios	Fijas	Móviles	Gases	Partículas
Emitidos directamente a la atmósfera:	Formados por reacción química de los primarios:	• Chimeneas industriales	• Parque automotor	• SO ₂ , • NO _x	• PM ₁₀ (partículas gruesas)
Emitidos	los primarios:	• Tubos de escape industrial	• Ferroviario	• O ₃ ,	• PM _{2.5}
• SO ₂ , NO _x	• O ₃	• Extractores de laboratorio	• Aviones	• COV, • CO ₂	• PM _{0.1} (partículas ultrafinas)
• CO y PM _x	• PAN, otros				

¹Repercusión de la contaminación del aire en la aparición de asma (J. Caraballo & Sánchez, 2015)

²Evaluación de la calidad del aire empleando líquenes como indicadores en la ciudad de Chachapoyas, Amazonas, 2017 (Mendoza, 2018)

Adicionalmente, Corleto & Cortéz (2012) indican que los contaminantes también se pueden clasificar por su estado físico y por su composición química. En el primer caso, por su (i) estado físico los contaminantes atmosféricos son clasificados como gases y partículas; es decir, líquidos y sólidos. El comportamiento de los gases se asemeja al aire, puesto que una vez que se esparce en la atmósfera no tiende a sedimentarse o depositarse. Mientras que las partículas se asemejan a los sólidos cuya sedimentación depende de su tamaño: las de mayor diámetro se depositan primero y más cerca a la fuente emisora, mientras que las de menor dimensión siguen un comportamiento que tiende a asemejarse al de un gas, visto que permanecen en suspensión y son de fácil transporte por el viento. En la segunda clasificación, (ii) por su composición química los contaminantes son clasificados como orgánicos e inorgánicos. Los orgánicos están compuestos principalmente por carbono, hidrógeno y otros elementos (por ejemplo, los compuestos orgánicos persistentes o COPs) mientras que los inorgánicos presentan una estructura más simple, tales como el monóxido de carbono y el dióxido y otros óxidos como el azufre, nitrógenos, clorofluorocarbonos, etc.

2.2.1.2. Calidad del aire

La calidad del aire o inmisión es la concentración de contaminantes presente en la atmósfera producto de la emisión de uno o varios emisores. En ese sentido, se emplean diversos

índices para determinar el estado de la calidad del aire y sea de fácil entendimiento para la población. A nivel internacional, se tiene el Índice de Calidad del Aire (AQI, por sus siglas en inglés) que es calculado en función a los contaminantes PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃ y CO, los cuales se correlacionan inversamente con la cantidad de cobertura vegetal presente en una determinada área (Tian et al., 2019). Por otro lado, a nivel nacional se estableció el Índice de calidad del aire (INCA, en lo sucesivo) sustentado en el Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM (ECA-Aire 2008) que establece los valores para los parámetros de los estándares de calidad ambiental (ECA) y los niveles de alerta nacional de contaminantes atmosféricos (Sánchez, 2016).

2.2.1.3. Salud pública

Así como la contaminación atmosférica causa detrimento de la calidad del aire, también ésta se asocia al aumento de la morbilidad y mortalidad de la población. Estas últimas están relacionadas, en su mayoría, a enfermedades cardiovasculares, cáncer de pulmón, asma, infecciones respiratorias agudas (Sánchez, 2016) e inclusive se asocian a problemas durante el embarazo, como parto prematuro (gestación menor a 37 semanas) y bajo peso al nacer (en promedio menos de 2 500 g) (Souza, 2015).

Asimismo, en la Tabla 2. se sintetizan las principales consecuencias de altas concentraciones de algunos principales contaminantes en la salud pública:

Tabla 2.
Efectos de contaminantes atmosféricos en la salud pública

Contaminante	Efecto
Partículas suspendidas	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas respiratorios, favorece el desarrollo del asma y rinitis² • Desbalance hormonal y disminución de la fecundidad¹ • Tos, malestar en la garganta, irritación ocular, dolor de cabeza³
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> • Genotoxicidad embrionaria y abortos espontáneos¹ • Reducción de la función de pulmones² • Favorecen estados proalérgicos (asma) y bronquitis²
Metales, cadmio (Cd) y plomo (Pb)	<ul style="list-style-type: none"> • Alteraciones en el endometrio¹ • Abortos espontáneos¹
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	<ul style="list-style-type: none"> • Desbalance hormonal (irregularidad en ciclo menstrual, disminución de la fecundidad)¹ • Trastornos en el embarazo¹

¹Estilo de vida, contaminación atmosférica y problemas que afectan la salud reproductiva en la mujer (Bizarro-Nevarés et al., 2018)

²Repercusión de la contaminación del aire en la aparición del asma (Caraballo, 2012)

³Las Partículas Respirables PM10 y su Composición Química en la Zona Urbana y Rural de Mexicali, Baja California en México (Canales M., Quintero M., Castro T., & García R., 2014)

A partir de dicho cuadro, se puede inferir que el estado de la calidad del aire en áreas urbanas e industrializadas afecta notoriamente a la reproducción femenina. Del mismo modo, según estudios epidemiológicos que correlacionaron los contaminantes atmosféricos y la reproducción femenina se concluyó que una exposición directa a compuestos tóxicos aéreos puede alterar la estructura histológica femenina (composición y características de los tejidos orgánicos) o de los embriones en el periodo de gestación y la función de los órganos reproductores (producción de hormonas) (Bizarro-Nevares et al., 2018).

En función de los detalles precedentes, se evidencia la urgencia por mejorar la calidad del aire en el ecosistema urbano en favor de la salubridad pública y el ambiente.

2.2.1.4. Factores incidentes en la contaminación atmosférica

Factores meteorológicos

De acuerdo con lo expuesto por la Environmental Protection Agency (US Environmental Protection Agency, s.f.) (EPA, en lo sucesivo) los parámetros atmosféricos pueden afectar la variación de los contaminantes y su transporte en el lugar de muestreo o monitoreo. Además, la presencia de edificios incide como barreras artificiales y los cerros o montañas como barreras orográficas, la radiación o fuentes de calor permiten la volatilización de ciertos contaminantes. También la presencia de sumideros de carbono naturales, como áreas boscosas, producen anomalías a escala local en las trayectorias de los flujos de aire las cuales pueden disminuir la concentración de los contaminantes cerca de las fuentes emisoras y pueden aumentar la dispersión de estos en el área circundante. Asimismo, en la Tabla 3 se presentan los principales factores meteorológicos, indicados por la EPA, que pueden causar alta influencia en la dispersión de los contaminantes:

Tabla 3

Factores meteorológicos que afectan la dispersión de contaminantes

Factor meteorológico	Descripción
Velocidad del viento (m/s) ¹	Este factor incide principalmente en el tiempo de viaje del contaminante desde la fuente emisora hacia el receptor y en su dilución, lo cual genera una relación inversamente proporcional entre la velocidad del viento y la concentración del contaminante. Por otro lado, mediante la escala de Beaufort se clasifican la velocidad del viento en diferentes categorías. Los flujos de 0-1.5 m/s se consideran

	vientos de calma o ventolina, 1.6-3.3 m/s se valoran como vientos de brisa muy débil, 3.4-5.4 m/s como vientos de brisa ligera, 5.5-7.9 m/s como vientos bonancibles o de brisa moderada, 8-10.7 m/s como vientos de brisa fresca y por encima de este valor como vientos con brisas fuertes hasta huracanes.
Dirección del viento (°) ¹	Este factor genera una incidencia en el movimiento de las partículas de la atmósfera desviando la dirección de los contaminantes de la fuente de emisión. La data histórica del área de estudio puede indicar la dirección promedio del viento en la línea circundante de las principales fuentes de emisión.
Variabilidad del viento ¹	Hace referencia al movimiento alternativo en los componentes verticales y horizontales de la velocidad del viento. Puede ser mecánico: barreras físicas o cambios en el terreno, o térmico: calentamiento o enfriamiento de las masas de tierra o cuerpos de agua.
Precipitación (mm) y Humedad (%) ¹	La estacionalidad, nieblas, precipitaciones también afectan la data recolectada. Por ejemplo, lugares con baja humedad relativa (HR<80%) pueden tener tasas de captura de datos de alrededor del 90%, pero cuando estos tienen un HR>80% se debe tener una evaluación constante por más de un 20% del tiempo de monitoreo para verificar la integridad de los datos. De igual forma cuando hay presencia de niebla severa, nieve o calina que afectan la visibilidad hacen variar la data completamente. Del mismo modo, una atmósfera muy saturada puede producir acidificación de los óxidos. ²
Temperatura (°C)	Este factor meteorológico influye de forma decisiva en la acumulación de CO ₂ en la atmósfera, así como en la volatilización de otros contaminantes, junto a la radiación solar que tiene la capacidad de fotodisociar algunos contaminantes atmosféricos como el NO ₂ .

Fuente: Elaboración propia basada en ¹EPA (US Environmental Protection Agency, s.f.) y ²Tovar, Gómez & Zamorategui (2017)

Factores topográficos

Según la EPA (US Environmental Protection Agency, s.f.) en función de la gradualidad

de las características de los factores topográficos se puede ejercer mayor o menor influencia en el monitoreo de estas; es decir, un río profundo, valles o montañas puede afectar los parámetros meteorológicos. En la Tabla 4, se describen algunos de estos factores que afectan principalmente al flujo de aire y este a su vez a la zona de muestreo:

Tabla 4

Factores topográficos y su incidencia en el flujo de aire y zonas de monitoreo

Característica topográfica	Influencia en el flujo de aire	Influencia en la zona de muestreo
Valles y pendientes (%)	Corrientes de aire descendentes y en frío, por las noches. Vientos cuesta arriba en días despejados. Tendencia a inversiones térmicas.	Las laderas y valles son sitios especiales para los monitoreos puesto que los contaminantes están más dispersos y la concentración no será focalizada.
Cuerpo de agua	Brisas marinas o paralelas a la costa durante el día o en clima frío y brisas terrestres nocturnas.	Monitores en la costa generalmente para lecturas de fondo o para obtener datos de contaminación del tráfico de agua.
Montañas o barreras naturales	Cuando las crestas son afiladas causan mayor turbulencia. Flujos de aire alrededor de obstrucciones durante condiciones estable, pero un flujo de aire sobre las obstrucciones en condiciones inestables.	No es ventajoso ubicarlo si las emisiones están en contra del viento, influencia de la pendiente. Pero si están a favor se situará cerca de la fuente. Monitorear cerca a la fuente si los centros poblados están adyacentes.

Fuente: Elaboración propia basada en EPA (US Environmental Protection Agency, s.f.)

2.2.2. Material Particulado (PM_x)

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US Environmental Protection Agency, s.f.) el material particulado o partículas sedimentables, PM por sus siglas en inglés, es la mezcla de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, siendo así las

principales fuentes de emisión el parque automotor, sector industrial, demoliciones, obras de construcción, quema y combustión incompleta, incendios forestales, entre otros. Asimismo, la clasificación de estos está en función de los micrómetros de su diámetro, lo cual los categoriza como PM_{10} (partículas inhalables de diámetro varía entre 2.5 a 10 μm , capacidad de introducción en las vías respiratorias), $PM_{2.5}$ (diámetro aproximadamente de 2.5 μm , partículas que se introducen en los bronquiolos terminales y alveolos) y $PM_{0.1}$ (diámetro aproximadamente de 0.1 μm , partículas que pueden pasar al corriente sanguíneo) (Oyarzún, 2010).

Asimismo, la composición química de estas partículas es diversa, puesto que incluye material geológico, carbón elemental, nitrato de amonio (NH_4NO_3), elementos traza (elementos contenidos en la tabla periódica desde el Na al Pb, excepto Al, Si, Ca, Fe, Cl, K, Na, S), sales minerales, materia orgánica, entre otros. (Canales Rodríguez et al., 2014) y su concentración también está ligada a la temporalidad (verano e invierno, principalmente).

En varios países de Latinoamérica, la normativa de calidad del aire con respecto al material particulado solo se ha enfocado en el tamaño del diámetro de partícula; es decir, en su característica física, sin considerar la composición química la cual ocasiona una potencial toxicidad en función del tipo de contaminantes presentes (Matus, 2017).

2.2.2.1. *Material Particulado de diámetro menor a 10 μg (PM_{10})*

Este tipo de material particulado al ser considerado como partícula volátil de pequeño tamaño se caracteriza por permanecer en un estado de suspensión en el aire por un periodo largo, pero menor al $PM_{2.5}$ y cuya composición química depende de su fuente emisora (J. Caraballo & Sánchez, 2015).

Están conformados principalmente por carbono producto de la combustión incompleta (generación de hollín) de derivados fósiles, madera, partículas metálicas, polen y cenizas suspendidas en la atmósfera. Además, "...están formados principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono (hollín)" (Torres Castillo, 2016).

2.2.2.2. *Material Particulado de diámetro menor a 2.5 μg ($PM_{2.5}$)*

El $PM_{2.5}$ incluye diversos contaminantes tales como los nitratos, sulfatos y el hollín, principalmente producto de la combustión de diésel, los que no solamente penetran en los pulmones a través de los alveolos, sino que logran ingresar al sistema cardiovascular e incluso ser precursores de cáncer. Por ello, se han fijado valores en las directrices internacionales

estrictos sobre este compuesto en la que se fija una concentración media anual límite de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y de 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media durante las 24 horas al día (Organización Mundial de la Salud, 2016).

El $\text{PM}_{2.5}$ en las áreas urbanas se origina principalmente a partir de fuentes de emisiones relacionadas con el tráfico, el polvo del suelo, quema de biomasa y las actividades agrícolas, así como los aerosoles transportados a nivel regional; sin embargo, sigue siendo un gran desafío cuantificar las contribuciones de cada fuente y comprender el mecanismo de formación de material particulado (Zhang & Cao, 2015).

2.2.3. Nitrógeno atmosférico

En la atmósfera, los compuestos de nitrógeno se presentan principalmente en su forma oxidada o reducida (Špirić et al., 2014). Los primeros, los óxidos de nitrógeno, se emiten minoritariamente en forma natural a través de diferentes procesos biológicos en el suelo y ecosistemas acuáticos, mientras que en su forma de generación antropogénica son producto de la combustión en las unidades de transporte, de la industria y la producción de energía; a partir de ello, se calcula una generación próxima al 70% mediante este perfil (Špirić et al., 2014). En la segunda forma, la emisión del oxígeno reducido, según lo indicado por Galloway (2008) citado por Špirić et al. (2014), está relacionado primordialmente con las actividades agrícolas como la crianza de animales, aplicación de fertilizantes, pastoreo, entre otros.

En la Figura 1. se observa de forma gráfica la distribución de nitrógeno en la atmósfera:

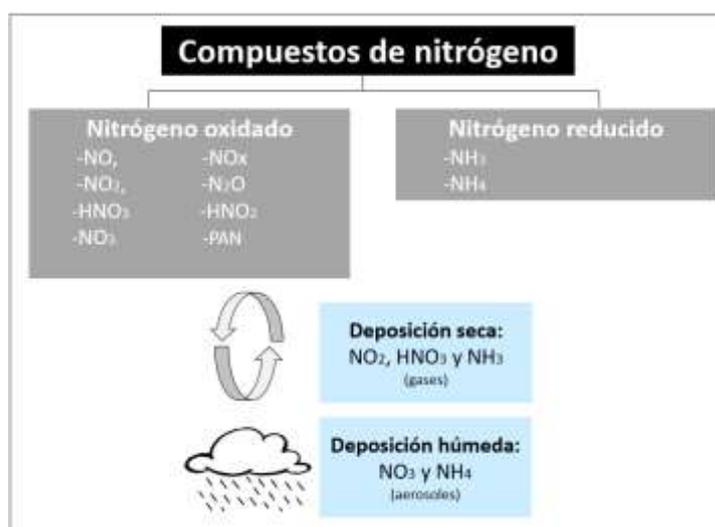


Figura 1 Nitrógeno atmosférico reactivo

Fuente: Elaboración propia basada en Kosonen, Thimonier, Schnyder, & Thöni (2018) y Poikolainen et al. (2009)

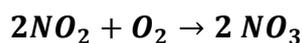
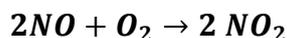
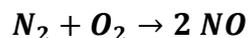
Por otro lado, un exceso de deposición de nitrógeno atmosférico puede desencadenar en

escenarios de eutroficación en ecosistemas terrestres y acuáticos, y pérdida de biodiversidad (Špirić et al., 2014) principalmente en ecosistemas con abundancia de especies de lento crecimiento (Poikolainen et al., 2009). Análogamente, Poikolainen et al. (2009) indicaron que la deposición de nitrógeno causa acidificación en contextos en los que el ecosistema se satura con la entrada de nitrógeno de la deposición y parte de este se filtra.

2.2.3.1. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Según la descripción precedente el óxido nítrico (NO), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el óxido nitroso (N_2O), además de otros compuestos de nitrógeno en reacción con oxígeno, se conocen colectivamente como óxidos de nitrógeno (NO_x). Las principales fuentes antropogénicas de emisión de estos contaminantes son la combustión en los procesos de transporte, centrales eléctricas de carbón y petróleo, procesos industriales y la producción energética (combustión interna, considerando que las altas temperaturas favorecen la reacción de estos) (Poikolainen et al., 2009), los cuales forman parte del 70% de las emisiones de óxidos de nitrógeno. Además, los NO_x son los principales precursores de la formación de ozono y aerosoles secundarios inorgánicos (SIAs, por sus siglas en inglés) (Špirić et al., 2014).

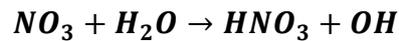
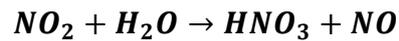
A continuación, se observa la formación de los principales óxidos de nitrógeno.



2.2.3.2. Dióxido de nitrógeno

El dióxido de nitrógeno (NO_2) es el compuesto más representativo del grupo de los óxidos de nitrógeno, por lo cual se emplea como indicador de dicho conjunto o grupo. En la atmósfera, los óxidos de nitrógeno (principalmente, el NO y el NO_2) son precursores en la formación de lluvia ácida, en la producción de smog fotoquímico y en la descomposición de ozono troposférico. Asimismo, cuando este compuesto tiene contacto y reacción con el agua (H_2O) forma ácido nitroso (HNO_2) y ácido nítrico (HNO_3) los cuales también son precursores de la lluvia ácida, junto al ácido sulfúrico. Del mismo modo, si en la atmósfera se produce una reacción entre NO_2 y O_3 , el producto de ambas es una sustancia con alta capacidad de destruir la capa de ozono y con ello acelerar el calentamiento global.

A continuación, se presentan las reacciones descritas previamente:

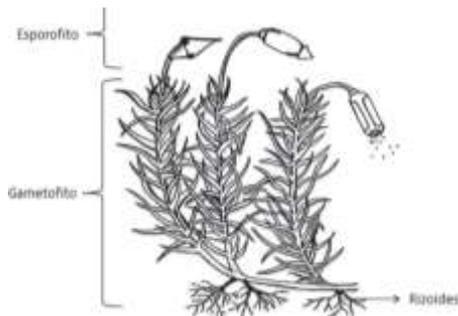


2.2.4. Briófitas

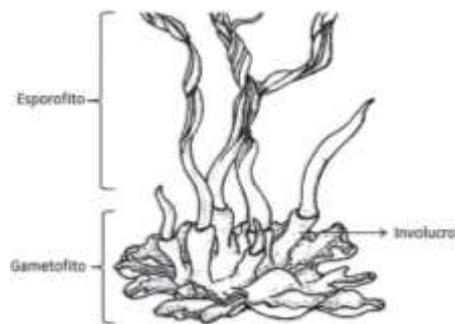
La taxonomía de las briófitas las sitúa dentro del reino plantae y se divide en tres categorías: musgos, antoceros y hepáticas (verificar Tabla 5). Estas son plantas no vasculares; es decir, no cuentan con un sistema de conducción, como raíces, que permita el transporte de agua y nutrientes (xilema y floema) por todo su organismo, por lo cual realizan este transporte a nivel intercelular por difusión o transporte activo (Morales, Ospino, Jiménez, Berbén, & Negritto, 2017). Además, se encuentran desprovistos de cutícula, lo cual los convierte en organismos poiquilohídricos o capaces de permanecer en un estado de latencia hasta que sean reactivados mediante agua, asimismo, dicha ausencia de tejido les permite obtener nutrientes directamente de la atmósfera (humedad) y fijar contaminantes aéreos (SO₂, NO₂, CO, CO₂, HF y HCl) (Simijaca-Salcedo, Vargas-Rojas, & Morales-Puentes, 2014). Por lo general, son de bajo crecimiento (alcanzan una altura de hasta 20 cm) y los hábitats por los que se distribuyen son muy variables, desde ambientes desérticos (por su alta tolerancia a la desecación o anhidrobiosis) hasta ambientes cercanos a medios marinos, pero se resalta una mayor prominencia en los trópicos (Morales et al., 2017).

Por otro lado, las briófitas son importantes reservas hídricas para el ecosistema en los que se desarrollan, a causa de que tienen la capacidad de permanecer en latencia en épocas secas lo cual les otorga la capacidad de actuar como captadores hídricos de las precipitaciones y humedad ambiental para luego suministrarlos a las plantas de su entorno en periodos críticos de sequedad (Delao, N & Evangelista, 2012).

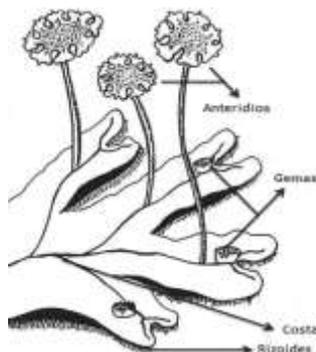
Tabla 5
Grupos de briófitas

	Morfología vegetal ¹	Imagen referencial ²
Musgos	 <p>El diagrama muestra la estructura de un musgo. El esporofito (parte superior) incluye el arqueogonio y el leptogonio. El gametofito (parte inferior) incluye el rizoma y los rizoides.</p>	 <p>Una fotografía de una colonia de musgos, mostrando una densa cobertura de plantas pequeñas con tonos verdes y rojos.</p>

Antoceros



Hepáticas



¹Briófitos: un mundo en miniatura (Morales et al., 2017)

²Bryophyte Ecology (J. M. Glime, 2017a)

2.2.5. Musgos (*Bryophyta sensu stricto*)

A comparación de otras briófitas, los musgos tienen una mayor capacidad de almacenar agua y en condiciones de desecación extrema logran permanecer en un estado de latencia o letargo; es decir, están vivos pero inactivos y al recibir agua de cualquier tipo (precipitación o por riego), la absorben rápidamente y logran que sus niveles de respiración vuelvan a ser normales y continúan su crecimiento a través de la fotosíntesis. Un ejemplo de ello, es la especie *Tortula Arequipensis* que posee este mecanismo de protección más desarrollado que otros, durante su rehidratación se producen daños principales en su estructura pero estos son reparados en su integridad por el conjunto de proteínas que posee (Cubas, 2008).

2.2.5.1. Morfología

La compleja estructura de los musgos establece que estos sean más tolerantes a la desecación con respecto a otras briófitas, puesto que poseen un pigmento llamado zeaxantina que tiene el rol de ser fotoprotector de la clorofila durante periodos de desecación y promueve así una aclimatación más rápida de la especie cuando se encuentra en situaciones adversas. (Escolar, 2014). Además, según Frahm & Sabovljevic (2007) citado por Splittgerber & Saenger (2015), los musgos poseen una película bacteriana en su superficie la cual absorbe componentes inorgánicos y los acumula como material orgánica a través de procesos metabólicos.

Por otro lado, los musgos no poseen raíces sino rizoides, cuya función principal es la de sostenimiento y adhesión a diferentes superficies; es decir, no necesita suelo para poder desarrollarse, por lo que no necesita un sistema activo para la captación de agua del sustrato. Por otro lado, sus hojas son llamadas filidios, las cuales poseen una cutícula fina e incompleta, en algunos casos está ausente, por lo que es perjudicial que estén expuestos al aire seco durante largos periodos, es así que los ambientes húmedos son los óptimos para su desarrollo, a través de estos absorbe los contaminantes de la atmósfera (Cubas, 2008). Finalmente, poseen pequeños tallos llamados caulidios, estos sirven de eje para el individuo y al carecer de tejido vascular el transporte de sustancias o líquidos de una parte a otra (rizoides a filidios, por ejemplo) del gametofito se hace complejo e inviable (Chamorro, 2011). En la Tabla 6. se resume la morfología de los musgos descrita en las líneas precedentes.

Tabla 6
Morfología del musgo

Morfología de la especie ¹	Descripción
<p>Diagrama que muestra la morfología de un musgo. Se identifican las siguientes partes: Esporofito (estructura superior), Seta (eje que conecta el esporofito con el gametofito), Pie (estructura que conecta el gametofito con el sustrato), Gametoforo (estructura que produce gametos), Caulidio (pequeño tallo), Filidio (hoja), y Rizoides (estructuras que anclan el gametofito al sustrato).</p>	<p>Esporofito y gametoforo: sistema de reproducción. El primero es asexual y el segundo, sexual.</p> <p>Filidio: especie de hoja que se reviste de una cutícula muy delgada o puede prescindir de esta.</p> <p>Rizoides: pseudoraíces, proporciona sostenimiento a la especie.</p> <p>Caulidios: pseudotallos. Función principal es ser eje y guía del musgo.</p> <p>Seta: es un eje alargado que conecta al esporófito con el gametofito.</p> <p>Pie: sirve para la toma de nutrientes del gametoforo.</p>

¹ Análisis fenotípico y fisiológico del musgo *Bryum billarderi* Schwägr en respuesta a glucosa y ácido abscísico (Chamorro, 2011)

2.2.5.2. Fisiología

La superficie del musgo posee una carga electrostática negativa; es decir, que las partículas finas y componentes de óxido de nitrógeno que llevan una carga positiva mediante las fuerzas de atracción se acumulan en la superficie del musgo y se convierten así en fitomasa (Splittgerber & Saenger, 2015). Asimismo, los procesos fisicoquímicos como el intercambio iónico y la captación intracelular pasiva y activa, permiten que los elementos que capta puedan ser retenidos por su superficie (Aničić et al., 2009).

2.2.5.3. Nutrición vegetal

Las fuentes de nutrición directa de los musgos, en general, incluyen precipitación o

humedad, polvo (J. M. Glime, 2017b), elementos traza y muy poco o nulo consumo de nutrientes del sustrato (Špirić et al., 2014), por este tipo de adquisición de nutrientes de fuentes externas y fijación en su superficie se le denomina intercambiadores catiónicos (la superficie de los musgos está cargada negativamente mientras que el material particulado lleva una carga positiva).

Según Brown(1982) citado por Glime (2017b) las briófitas absorben nutrientes a través de toda su superficie, debido a dos características principales: gran ratio área superficial/volumen (follaje fino y denso) y una baja resistencia de superficie o cutícula (expone a cada célula de sus filidios a suministrarse directamente de nutrientes de la atmósfera y no a través de sus rizoides). Asimismo, Splittgerber & Saenger (2015) indicaron que los musgos son capaces de reducir en un 10-15% los óxidos de nitrógeno, así como un 20-25% el material particulado y partículas finas de la atmósfera mediante sus procesos metabólicos para no devolverlos al ambiente.

A partir de la segunda característica identificada, se indica que los musgos tienen una película bacteriana delgada, en su ausente o casi nula presencia de cutícula, la cual le confiere la capacidad de absorber compuestos inorgánicos y acumularlos dentro de su corteza periférica como materia orgánica. Dicha conclusión fue comprobada mediante análisis de laboratorio que demostraron una tasa de retención de 20 gramos de PM/m²/año (Splittgerber & Saenger, 2015) y por los resultados expuestos por Lou *et al* (2013) citado por Glime (2017b) indicaron que la concentración de metales pesados (Fe, Pb, Cr y Cu, principalmente) en la especie *Haplocladium microphyllum* se correlaciona directamente con la concentración de dichos contaminantes en el medio y sigue un orden de Fe>Cr>Cu>Pb. Es decir, bajas concentraciones de dichos iones metálicos promueven la capacidad de absorción de otros nutrientes en el musgo, mientras que altas concentraciones de dichos metales disminuyen el consumo de otros elementos nutritivos para la especie (el cromo exceptúa esta relación).

Por otro lado, su morfología también les ha otorgado una mayor adaptación a la toma y retención de agua; por ello, las relaciones hídricas y la superficie vegetal que poseen para adquirir sus nutrientes es diferente en escala y estrategias de adaptación a las plantas vasculares (Montenegro, 2011). Su capacidad poiquilohídrica permite que “sean conocidos por su gran aptitud para sobrevivir a altos niveles de deshidratación, por ello los musgos han sido utilizados como modelos de estudios para entender diferentes aspectos de la tolerancia a la deshidratación” (Montenegro, 2011). Esto último hace que estas especies tengan una gran estrategia de adaptación frente a cambios o evoluciones en su propio nicho. Por ejemplo, la

especie de musgo *Dicranum*, la cual se desarrolla en ambientes saturados o con una densidad vegetal alta, retiene más partículas que otras especies de líquenes abiertos como *Cladonia* o *Cladina* (J. M. Glime, 2017b).

2.2.5.4. Ciclo de nitrógeno

El nitrógeno es uno de los macronutrientes, al igual que el fósforo (P) y el potasio (K), más esenciales para los seres vivos; asimismo, este conforma algunos compuestos vitales en los vegetales tales como proteínas, paredes celulares y clorofila. (Perdomo, Barbazán, & Durán, 2007). Las fuentes principales de suministro de nitrógeno para las plantas son la atmósfera (en su mayoría) y el suelo (materia orgánica del suelo). Tanto las plantas vasculares como las briófitas pueden suministrarse de nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) u otras formas oxidadas. Sin embargo, en las briófitas la forma de nitrógeno que requiere varía con las especies y su hábitat; por ejemplo, la especie *Sphagnum* tiene preferencia por el NH_4^+ (Glime, 2017).

En la primera fuente, la atmosférica, el nitrógeno se encuentra principalmente en su forma molecular (N_2 , forma inerte) y minoritariamente en otras formas gaseosas (óxido nitroso N_2O , óxido nítrico NO , amoníaco NH_3 y dióxido de nitrógeno NO_2). Debido al triple enlace que une las moléculas de N_2 , las plantas son incapaces de asimilarlas directamente, por lo que se tienen dos vías o mecanismos para que este macronutriente pueda ser asimilado: mediante bacterias o cianobacterias (fijación de nitrógeno de forma simbiótica o asimbiótica) (Perdomo et al., 2007) o por disolución en el agua de las lluvias (Poikolainen, Piispanen, Karhu, & Kubin, 2009). En la segunda fuente, el suelo, el nitrógeno en su forma orgánica tampoco puede ser absorbido por las plantas, sino que este tiene que ser transformado a formas inorgánicas (nitrato NO_3^- , amonio NH_4^+ y nitrito NO_2^-) (Perdomo et al., 2007).

2.2.5.5. Factores que inciden en el desarrollo y crecimiento de la especie

Los principales factores que inciden en el desarrollo de esta especie son la radiación solar (W/m^2) debido a que está relacionado directamente la reflexión de los rayos caloríficos por la especie debido a que esta produce dos (02) tipos de procesos principales: energéticos (fotosíntesis) y morfogénicos (desarrollo de la forma y estructura de los órganos vegetales). Asimismo, la humedad que es el vapor de agua contenido en el aire y el suelo, y la presión atmosférica están relacionadas con la velocidad de crecimiento de las especies briófitas (Choque, 2016).

2.2.5.6. *Ciclo de vida*

El peculiar ciclo de vida de los musgos, haploide-diploide, con dominancia de la fase haploide, los cataloga como las únicas plantas terrestres en las que predomina el gametoforo (generación más compleja y duradera), encargado del crecimiento y proliferación sexual (gametos masculinos y femeninos), mientras que el esporofito se relaciona a la reproducción asexual de esta (esporas) (Cubas, 2008). En síntesis, la alternancia de generaciones, haploide y diploide, de las briófitas les otorga la propiedad de tener gametos y esporas, y con ello adquirir los nutrientes con poca o mucha fotosíntesis, pero en presencia de agua debido a la movilidad del gameto masculino para lograr fecundar el gameto femenino (Chamorro, 2011).

2.2.5.7. *Distribución en Lima y Perú*

A nivel mundial, se distribuyen entre 9 000 (Morales et al., 2017) y 13 000 especies de musgo (Chamorro, 2011). Sin embargo, los estudios integrales sobre briófitas en el Perú son escasos y, en general, se han catalogado y registrado las especies solo por localidades específicas y no a nivel nacional (Rodríguez, Licera, & Izquierdo, 2017). Del mismo modo, según Churchill (2009) citado por Espinoza & Grijalva (2017) Perú es uno de los países que menos ha estudiado la diversidad y riqueza de estas especies. Teniendo en cuenta ello, se han registrado 273 especies de briófitas en el departamento de La Libertad (Rodríguez et al., 2017), 54 especies de musgo en el distrito de Pomacahua-Cajamarca (Opisso M., 2003) y 100 especies de musgo en el Parque Nacional de Yanachaga Chemillén (Opisso M. & Churchill, 2008).

Por otro lado, el género *Pleurozium* tiene amplia distribución comercial en el mercado local de Lima (Espinoza, Grijalva, Opisso, & Lazarinos, 2017). Dichas especies son ofertadas principalmente para su empleo en kokedamas (plantas cultivada sobre musgo y sustrato, pero sin macetero) y para fines ornamentales navideños.

2.2.5.8. *Estado de conservación*

El estado de conservación de esta especie se determinó en función a la normativa nacional e internacional vigente.

Según la normativa nacional se tiene que en el Decreto Supremo N° 043-2006-AG (Ley que aprueba la Categorización de especies amenazadas de flora silvestre) tanto la especie *Pleurozium Quitense* y la familia Hylocomiaceae a la que pertenece no se encuentran registradas en ninguna de las cuatro (04) categorías (Casi Amenazado-NT, Vulnerable-VU, En Peligro-EN y Peligro Crítico-CR) de esta norma. Asimismo, según el listado de especies de flora silvestre CITES-Perú, que identifica los diferentes niveles y tipos de protección de las

especies procedentes del Perú frente a la comercialización a nivel internacional, no se ha evaluado o identificado a la especie de esta investigación ni al género o familia dentro de ningún apéndice (Apéndice I-especies en peligro de extinción, Apéndice II-especies en potencial peligro de extinción y Apéndice III-especies aptas para ser comercializadas) de dicho listado. Sin embargo, cabe resaltar que se tiene un interés a nivel nacional por conservar la distribución y conservación de los musgos (Espinoza et al., 2017).

Por otro lado, de acuerdo con la normativa internacional Red List IUCN no se ha identificado la especie ni la familia en ninguna de las siete (07) categorías de preocupación (Extinct in the Wild-EW, Critically Endangered-CR, Endangered-EN, Vulnerable-VU, Near Threatened-NT, Data Deficient-DD, Least Concern-LC). Sin embargo, la especie briófito más semejante y dentro del género *Pleurozium*, *Pleurozium schreberi* se encuentra en estado de LC; es decir, esta especie se encuentra en un estado de menor preocupación.

2.2.5.9. *Pleurozium quitense*

Se seleccionó la especie de musgo *Pleurozium quitense*, del género *Pleurozium* en función a criterios externos tales como su amplia distribución en el mercado local (Espinoza et al., 2017), alto grado de persistencia de pigmentación verde en su estructura vegetal (mejor impacto visual) y criterios técnicos relacionados a la abundancia y distribución en ecosistemas tropicales (Rodríguez et al., 2017; Cardona Peña, Fuentes, & Cayola, 2005). El género *Pleurozium* presenta una alta capacidad de tolerancia a la deshidratación (Montenegro et al. 2005). Por tal razón la presente investigación es pionera a nivel nacional en estudiar esta especie, debido a que no se tiene registro del empleo de éste ni como bioindicador, siendo el género *Sphagnum* el más empleado para cumplir dicha función.

La posición taxonómica de la especie en estudio se detalla a continuación:

División: Bryophyta

Clase: Bryopsida

Orden: Hypnales

Familia: Hylocomiaceae

Género: *Pleurozium*

Especie: *Pleurozium quitense* (Mitt.) B.H. Allen & Magill

La identificación de la especie de estudio fue determinada en el departamento de Briología y Pteridología del herbario del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de San Marcos.

2.2.6. Descripción de las especies de comparación

Para la segunda fase de la investigación, se procedió a describir las especies rastrera y arbórea con la cual se compara la concentración de sólidos totales determinados por el método de aplicación descrito previamente.

2.2.6.1. Especie arbórea *Schinus terebinthifolius*:

A continuación, se presenta la posición taxonómica de la especie en mención definida en la investigación de Chipoco & Valencia (2015):

Familia: Anacardiaceae

Género: *Schinus*

Especie: *Schinus terebinthifolius*

Nombre común: Molle costeño, molle hawaiano

Las medidas dasométricas de esta especie arbórea indican que presenta una altura que fluctúa entre 5 y 7 metros aproximadamente y el fuste o tronco es de tamaño corto y regularmente torcido, corteza gruesa y agrietada. La copa es densa, muy ramificada y de color verde oscuro, también presenta flores e forma en racimos terminales y frutos rojizos de diámetro variante entre 2 a 3 mm. Asimismo, sus hojas son imparipinnadas de longitud entre 8 a 12 centímetros (Chipoco & Valencia, 2015). Este árbol se adapta muy bien a todo tipo de suelos, desarrollo en lugares con mayor luz solar, buena resistencia a sequía prolongadas y es constantemente invadido por el insecto chupador *Pulvinaria sp.* (Servicio de Parques de Lima, 2013).

2.2.6.2. Especie rastrera (*Aptenia cordifolia*):

A continuación, se presenta la posición taxonómica de la especie en mención definida en la investigación de Chipoco & Valencia (2015):

Familia: Aizoaceae

Género: *Mesembryanthemum*

Especie: *Aptenia cordifolia* o *Mesembryanthemum cordifolium*

Nombre común: Señorita o planta del rocío

Las características morfológicas de estas especies indican que sus tallos pueden alcanzar hasta 3 metros de alto, presenta flores color rosa a púrpura y permanecen abiertas durante el lapso del fotoperiodo; además, tiene frutos y preferencia para un desarrollo óptimo en lugares húmedos y con bastante luz solar. Debido a su naturaleza, opuesta a las plantas trepadoras, esta se extiende por amplias áreas para cubrir las zonas con poca cobertura vegetal; asimismo, evita

el crecimiento de hierbas malas en los lugares donde se distribuye (Chipoco & Valencia, 2015).

2.2.7. Capacidad de adsorción y absorción

Según la revisión bibliográfica realizada en los numerales 2.2.5 y 2.2.6, se concluye que la diferencia principal de dichos conceptos se basa en las características propias de cada especie. Es decir, los musgos al poseer una estructura morfológica, fisiología y tipo de nutrición diferente y más versátil en comparación a las plantas vasculares, se hace posible que estos capturen los contaminantes aéreos y los asimilen (absorban) y transformen en fitomasa mediante procesos metabólicos, por lo cual no vuelven a expeler estos contaminantes al ambiente. Por otro lado, las plantas vasculares que presentan una nutrición principalmente suministrada por el suelo y agua (raíces) tienen capacidad de adsorción, puesto que principalmente adhieren los contaminantes atmosféricos en su superficie cuticular y dependiendo de su eficiencia que posean asimilan cierto porcentaje, pero otro vuelve a ser expulsado a la atmósfera; es decir, no se evita totalmente la resuspensión de estas al ambiente.

2.2.8. Objetivos del desarrollo sostenible

La presente investigación se basó en contribuir tentativamente a tres (03) de los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, en adelante): 3 (Salud y bienestar), 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y 13 (Acción por el clima), de la Agenda 2030, debido al uso de una especie que contribuye a mitigar el cambio climático en áreas urbanas y a impulsar su conservación y preservación en las zonas altoandinas de nuestro país. En tal sentido, se desarrolla cada uno de estos:

2.2.8.1. ODS 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades

Tal como se indicó en la sección de realidad problemática y efectos de los contaminantes, una reducción en la concentración de contaminantes tales como el material particulado y el dióxido de nitrógeno que comprometen graves problemas no solo a nivel respiratorio sino también a nivel cardiovascular y de embarazo, logra apuntar al cumplimiento de la meta e indicador:

- Meta 3.9: De aquí a 2030, reducir considerablemente el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos y por la polución y contaminación del aire, el agua y el suelo.
- Indicador 3.9.1. Tasa de mortalidad atribuida a la contaminación de los hogares y del aire ambiente.

2.2.8.2. ODS 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles:

Considerando los cinco (05) aspectos clave que rigen el desarrollo urbano en Lima metropolitana, la presente investigación enfoca su desarrollo en proponer un proyecto inclusivo (considera en su estructura la problemática de ordenamiento territorial), sostenible (emplea una especie versátil y eficiente en remoción de contaminantes) y enfocado en adaptarse al *statu quo* y lograr mejorar la salud pública local. Es por tal motivo que se apunta al cumplimiento de las metas e indicadores:

- Meta 11.6. De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.
 - Indicador 11.6.2. Niveles medios anuales de partículas finas (por ejemplo, PM_{2.5} y PM₁₀) en las ciudades (ponderados según la población).
- Meta 11.7. De aquí a 2030, proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad.
 - Indicador 11.7.1. Proporción media de la superficie edificada de las ciudades que se dedica a espacios abiertos para el uso público de todos, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad

2.2.8.3. ODS 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos:

El proyecto de esta investigación se enfoca en reducir dos (02) contaminantes, material particulado y dióxidos de nitrógeno, siendo el segundo precursor de la lluvia ácida y gas de efecto invernadero. Por lo cual, se apunta al cumplimiento de la meta e indicador:

- Meta 13.2. Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.
 - Indicador 13.2.2. Emisiones totales de gases de efecto invernadero por año.

2.3. Marco Conceptual o contexto de Investigación

Ecosistema hiperárido: Los ecosistemas áridos a hiperáridos se encuentran dentro del tipo de Ecosistema Desierto Costero definida por Minam que abarca los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Áncash, Lima, Ica, Arequipa, Moquegua y Tana. Se caracteriza por distribuirse sobre áreas mayormente desprovistas de vegetación, suelos arenosos o con

afloramientos rocosos sometidos a erosión eólica. Asimismo, la precipitación en ecosistemas hiperáridos varía desde 0 a 25 mm/año, mientras que en áridos desde 25 a 250 mm/año . Finalmente, Los rangos altitudinales varían desde el nivel del mar: por el norte llega hasta los 800 m s. n. m., por el centro hasta los 1 800 m s. n. m. y por el sur hasta los 2 500 m s. n. m.

Escala Beaufort: Es una medida empírica de la intensidad o velocidad del viento fundamentada en el estado del mar, las olas y la fuerza del viento.

Estrés hídrico: Es el efecto de una alta demanda hídrica y una limitada disponibilidad de esta o por un baja calidad de esta que restringe su uso consuntivo. Este concepto se diferencia de la “escasez hídrica” debido a que ésta hace referencia a los periodos de estiaje o periodos naturales de ausencia de precipitaciones u otros eventos meteorológicos que reducen la oferta hídrica del ambiente.

Filidio: Es el apéndice aplanado semejante a una hoja típica en los briófitos a diferencia de las especies arbóreas u otras especies es que los musgos tienen una cutícula delgada que le sirve para poder captar los contaminantes de la atmósfera y nutrirse de ellos.

Rizoide: Parte de los briófitos que se asemeja a las raíces de las demás plantas, pero la función principal es mantener fijo el gametófito al sustrato o en el caso de los líquenes es mantener el talo fijo al sustrato.

Diploide: organismo que posee doble número de cromosomas (2n)

Haploide: A diferencia de los diploide, este tipo de células solo presentan en su núcleo una serie simple de cromosomas

Gametofito: Es el individuo de la generación haploide en las especies vegetales con ciclo de vida haplo-diploide. Fase sexual: gametos masculinos y femeninos (óvulos y espermatozoides).

Esporofito: el sistema de producción de esporas dependiente del gametofito; es decir, es asexual. En los musgos, está conformado por seta, cápsula y pie.

Poiquilo-hídrica: Capacidad de resistencia a niveles mínimos de agua

Anhidrobiosis: es un tipo de criptobiosis (estado que consiste en la suspensión de los procesos metabólicos) que le confiere a un organismo la capacidad no solo de resistir a la desecación, sino que sus células al rehidratarse retoman sus funciones fisiológicas, lo cual les permite revivir aún después de muchos años.

Fijación no simbiótica o asimbiótica: Esta fijación es realizada por diferentes microorganismos: bacterias de vida libre, algas azul-verde, principalmente.

Fijación simbiótica: Esta fijación es producto de la interrelación entre especie leguminosas y bacterias fijadoras de N, mecanismo importante en el sector agrícola para las rotaciones de diversos tipos de cultivos sin que se pierda significativamente las concentraciones de nitrógeno en el suelo.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La capacidad de absorción de material particulado y nitrógeno en la especie *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja, bajo los indicadores de concentración de material particulado y nitrógeno total, es mayor a $0.6705 \text{ mg/cm}^2/30\text{d}$ y a 1.54%, respectivamente, en los meses de setiembre y octubre.

2.4.2. Hipótesis Específica

La relación entre el dióxido de nitrógeno atmosférico y el nitrógeno total de la especie *Pleurozium quitense* es mayor a 0.95 en el distrito de San Borja en los meses de setiembre y octubre.

La capacidad de absorción de material particulado en la especie *Pleurozium quitense* es mayor a la capacidad de la especie arbórea *Schinus terebinthifolius* y la especie rastrera *Aptenia cordifolia*.

La ubicación óptima para la localización de muros verticales de *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja se establece en las avenidas principales y de mayor circulación.

Cabe resaltar que la determinación de los valores de $0.6705 \text{ mg/cm}^2/30\text{d}$ de material particulado se estableció a consecuencia de los estudios en la especie arbórea y rastrera en Cieneguilla, Lima realizados por Chipoco & Valencia, (2015). Asimismo, el 1.54% se determinó como valor promedio de concentración de nitrógeno total en la investigación en musgos por el método Kjeldahl realizado por Špirić et al. (2014) en Croacia. Por otro lado, se indica una relación de 0.95 para la primera hipótesis específica debido a la significancia estadística entre las variables.

2.4.3. Variables e indicadores

Se han identificado las siguientes variables e indicadores para la investigación:

Tabla 7
Descripción de las variables, dimensiones e indicadores

Variables	Dimensión	Indicadores	Criterio aplicado
Capacidad de absorción de nitrógeno	Nitrógeno total en especie vegetal	Concentración nitrógeno total (% de nitrógeno)	Análisis en laboratorio
Capacidad de absorción de material particulado	Sólidos totales en especie vegetal	Concentración de material particulado (mg/cm ² /30d)	Análisis en laboratorio
Condiciones meteorológicas	Temperatura	Temperatura media diaria	Meteorogramas
	Humedad relativa	Humedad relativa media diaria	
	Velocidad del viento	Velocidad media diaria	Rosa de vientos
	Dirección del viento	Dirección media diaria	
Calidad del aire	Dióxido de nitrógeno NO ₂	Concentración media diaria (µg/ m ³)	Rosa de contaminante NO ₂
	Material particulado P.M _{2.5} y P.M ₁₀	Concentración media diaria (µg/ m ³)	Rosa de contaminante P.M _{2.5} y P.M ₁₀
Localización de muros verticales	Ubicación de muros en el distrito	Matriz de Saaty	Mapa de aptitud de ubicación

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de Investigación

En este capítulo se desarrolla el diseño de investigación que se define como el plan o estrategia a seguir durante la investigación para obtener la data requerida y con ello responder al planteamiento del problema (Hernández & Mendoza, 2018). Considerando este preámbulo, se detalla el diseño, tipo y enfoque de la investigación.

3.1.1. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental, tipo longitudinal y clase evolución de grupo o cohortes. A pesar de parecer contradictorio, este trabajo de investigación no sigue un diseño experimental dado que no cumple con dos (02) de los tres (03) requisitos o criterios fundamentales que caracterizan dicho diseño: manipulación intencional de las variables

independientes (no se ha incrementado la concentración de material particulado, óxidos de nitrógeno o modificado las condiciones meteorológicas) y control sobre la situación experimental (no se han aislado las variables independientes para establecer con certeza una causalidad o relación directa) (Hernández & Mendoza, 2018). Por otro lado, a diferencia de los estudios experimentales, que construyen una realidad para llevar a cabo la prueba, los estudios no experimentales no generan ningún contexto, sino que se enfocan en observar las situaciones ya existentes. Asimismo, Mertens (2015) citado por Hernández & Mendoza (2018), indicó que la investigación no experimental es más factible y adecuada para aquellas variables que no pueden o resulta complejo manipularlas, siendo el caso de esta investigación.

El tipo de diseño es longitudinal puesto que se ha recolectado datos de las doce (12) muestras en diferentes periodos (cada semana y mensual) para identificar y determinar el cambio de la variable dependiente en función del tiempo de exposición de cada placa de musgo y de la concentración del contaminante en la atmósfera. Finalmente, es longitudinal de clase evolución de grupo o cohortes debido a que se ha estudiado muestras que poseen las mismas características vinculadas por el tipo de especie, cantidad de riego suministrado, medio de exposición, etc.

3.1.2. Tipo o nivel de investigación

El alcance de la investigación es de nivel o tipo descriptivo, puesto que el objetivo principal busca estimar las variables dependientes (concentración de sólidos totales y nitrógeno en *Pleurozium quitense*) e independientes (condiciones meteorológicas y calidad de aire) identificadas. Además, se especificaron las características y comportamientos de cada variable. (Hernández & Mendoza, 2018).

3.1.3. Enfoque

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo debido a que el proceso de esta sigue un orden secuencial para obtener data de las variables y comprobar las hipótesis planteadas; del mismo modo, la lógica del proceso es deductiva y los instrumentos empleados, para el análisis de los indicadores y presentación de estos resultados, son de carácter de análisis en laboratorio y el tratamiento de estos es estadístico (Hernández & Mendoza, 2018).

3.2. Población y Muestra

En la Tabla 8 se define la población, muestra y unidad de análisis y se establece la delimitación temporal de la investigación

Tabla 8
Descripción de la población y unidad de muestreo

Ítem	Descripción	Justificación
Población	Distrito de San Borja	Se delimitó de forma política el área del distrito de San Borja debido a que se establecieron dos (02) puntos de monitoreo en el sector 07 y 12 de este distrito.
Unidad de muestreo	Puntos de muestreo en el distrito	<p>El tipo de muestreo es no probabilístico puesto que el investigador ha aplicado criterios de selección relacionados a los objetivos y contexto del estudio. Asimismo, se ha tenido como guía referencial los criterios mínimos para la implementación de estaciones de monitoreo expuestos en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la calidad ambiental del aire (Minam, 2019):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altura de la entrada de la muestra ($1.5\text{ m} \leq x \leq 4\text{ m}$, rango adecuado) • Seguridad frente a vandalismo • Distancia horizontal respecto a obstáculos más altos que el equipo de monitoreo, en este caso del punto de muestreo, (≥ 2.5 veces la altura del obstáculo) • Distancia horizontal respecto de fuente de emisión ($\geq 20\text{ m}$ o desde los linderos hacia el exterior en zonas urbanas) • Restricciones de flujo de aire hacia la estación de monitoreo (ingreso de aire por 3 de los 4 cuadrantes: norte, sur, este y oeste) <p>Asimismo, debido al estado de emergencia nacional en el que se desarrolló esta investigación se ha limitado a determinar solo dos (02) puntos de muestreo, los cuales fueron elegidos por ser representativos en términos de flujo vehicular, de personas, cercanía a estaciones de monitoreo de calidad ambiental de aire y las condiciones previamente expuestas. Además, se ubicaron los puntos dentro o próximos del radio de cobertura de la estación</p>

meteorológica de Senamhi y de la estación q-H008 para asegurar la precisión y confiabilidad del tratamiento de la data meteorológica y de calidad del aire objetivo .

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 9 se detalla la unidad de análisis y se describe la delimitación temporal de la investigación.

Tabla 9
Descripción de la unidad de análisis y delimitación temporal

Ítem	Descripción	Justificación
Unidad de análisis	625 cm ² / placa de musgo	Se diseñaron dos (02) soportes o parantes de 3 niveles, los cuales tienen dimensiones de 25 cm x 25 cm, donde se dispusieron muestras en triplicata, ubicándose dos (02) unidades de análisis por cada nivel del parante. En total se tuvieron doce (12) placas o unidades a analizar, de las cuales diez (10) fueron destinadas a análisis de nitrógeno total y dos (02) de material particulado.
Delimitación temporal	4 semanas	La investigación abarcó el periodo de setiembre a octubre del 2020 (07/09/20 a 07/10/20).

Fuente: Elaboración propia

3.3. Instrumentos de Medida

Los instrumentos de medida utilizados se detallan a continuación:

3.3.1. *Análisis en laboratorio*

Cabe resaltar que debido al *statu quo* nacional se ha imposibilitado realizar los análisis en laboratorio por el propio investigador; por lo cual, se tercerizó la aplicación de los métodos propuestos (método *Kjeldahl* y método Sólidos totales 103-105° C) en laboratorios acreditados por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL, en lo sucesivo), a consecuencia de que no se pudo hacer uso de los equipos e instrumentos que proporciona la universidad u otra institución de educación superior, debido al cierre temporal de todos los centros de educación. En ese sentido, se describe de forma teórica ambos métodos empleados para determinar la concentración de nitrógeno total y material particulado.

a. Método de determinación de nitrógeno por *Kjeldahl*

Este método es ampliamente empleado para determinar la concentración o contenido de nitrógeno (%) en muestras orgánicas e inorgánicas en países europeos (Kosonen *et al.* (2018), Di Palma *et al.* (2017), Špirić *et al.* (2014), entre otras investigaciones); asimismo, es empleado para la determinación de N en aguas servidas o residuales, suelos y otro tipo de muestras (Pan, 2011). Se ha empleado este método según lo validado por Špirić *et al.* (2014), en cuyo procedimiento experimental aplicó dicha prueba para determinar la concentración de nitrógeno total en 98 muestras de musgo, principalmente de las especies *Hypnum cupressiforme*, *Pleurozium schreberi*, *Homalothecium sericeum*, *Hylocomium splendens* y *Brachythecium rutabulum*, distribuidas en el territorio de Croacia. De la misma manera, en la investigación científica de Harmens *et al.* (2011), las concentraciones de nitrógeno total en las especies de musgo *Pleurozium schreberi*, *H. splendens*, *Hypnum cupressiforme* y *Pseudoscleropodium purum* fueron determinadas mediante el método Kjeldahl, cuyos resultados se correlacionaron con el nitrógeno atmosférico depositado en puntos muestreados de diferentes países europeos (Austria, Bélgica, Bulgaria, entre otros).

De igual modo, Poikolainen, Piispanen, Karhu, & Kubin (2011) emplearon el método modificado Micro-Kjeldahl (menor generación de emisiones contaminantes) para determinar la concentración de nitrógeno en muestras de musgo de las especies de musgo *Hylocomium splendens* y *Pleurozium Schreberi* y su correlación con la deposición de NO_x, deposición húmeda (NO₃, NH₄), deposición seca (NO₂, NH₃, HNO₃) y de nitrógeno reducido (NRe total, NRe húmedo, NRe seco) en Finlandia.

Asimismo, Harmens & Frontasyeva (2019) sugieren que los métodos más adecuados para un análisis de nitrógeno en musgo son el método Kjeldahl (digestión húmeda, método oficial) y el método Dumas (combustión, reducción y purificación). Del mismo modo, indicaron que para comparar directamente la concentración de nitrógeno en los musgos con la deposición de nitrógeno atmosférico, se recomienda incluir sitios cercanos a las estaciones de monitoreo de la deposición de nitrógeno atmosférico.

A diferencia del método Dumas, la determinación de nitrógeno por Kjeldahl es un método más preciso y exacto (López & Vega, 2017); sin embargo, este conlleva más tiempo para su determinación y el empleo de una serie de reactivos como NaOH y H₂SO₄ (Gregorio, Lanza, Churión, & Gómez, 2016), lo cual implica una generación y liberación de gases contaminantes (NH₄, amonio mayormente). Asimismo, el tiempo de análisis oscila entre seis (06) horas (López & Vega, 2017) hasta máximo 10 horas (Gregorio *et al.*, 2016). No obstante, el método oficial y con mayor aplicación, en los laboratorios acreditados a nivel nacional, es el método

Kjeldahl o Micro-Kjeldahl (implica una producción reducida de humos ácidos y emplea menos ácidos y mezcla catalizadora (López & Vega, 2017)).

El procedimiento experimental de este método se explica de forma teórica en el Capítulo IV. Desarrollo del experimento.

b. Método de Sólidos Totales del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*:

El *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* es una compilación de métodos de análisis que incluyen procedimientos consensuados por una amplia gama de analistas y especialistas en referencia al análisis de agua, aguas residuales y materiales relacionados (Clesceri, Greenberg, & Eaton, 1999). Asimismo, dentro de dicho compendio se encuentran diferentes tipos de análisis para parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, entre otros; sin embargo, la prueba que se empleó en esta investigación fue la determinación de ‘Sólidos totales a 103 - 105° C’. Del mismo modo, este método elegido describe los materiales, equipos, reactivos, procedimientos y cálculos para la determinación del contenido de sólidos totales (incluye los sólidos totales suspendidos y los sólidos disueltos totales) en diversos tipos de muestra.

Mediante el empleo de este método se determinó la concentración de sólidos totales (capacidad de absorción) aplicados a muestra vegetales según lo empleado y validado en cuatro (04) tesis de investigación de licenciatura y maestría a nivel nacional. En la (i) se aplicó dicha prueba en la especie arbórea *Schinus terebinthifolius* y la especie rastrera *Aptenia cordifolia* en el distrito de Cieneguilla, Lima (Chipoco & Valencia, 2015). En la (ii) se empleó el método en mención en las especies arbóreas *Ficus Benjamina* y *Salix Humboldtiana* en el distrito de San Martín de Porres, Lima (Torres Castillo, 2016). En la (iii) se aplicó a la especie arbórea *Ficus Benjamina* en el distrito de San Martín de Porres, Lima (Angulo Paz, 2018). Finalmente, según la bibliografía revisada, en la (iv) se empleó la prueba en las especies ornamentales *Cytisus canariensis* y *Malva sylvestris* en la ciudad de Puno (Phocco Machaca, 2019). Por otro lado, la descripción de cada tesis de investigación se encuentra en la sección de Antecedentes del capítulo II. ‘Marco teórico’ y el procedimiento experimental respectivo se detalla de forma teórica en el Capítulo IV. Desarrollo del experimento.

3.3.2. *Data de calidad ambiental de aire*

Se ha empleado data meteorológica de diferentes servidores:

a. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi)*:

Para la presente investigación se logró obtener data meteorológica de la estación San Borja del periodo octubre de 2015 a julio 2020. Los parámetros monitoreados desde el inicio de operación de la estación son de temperatura media ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%), precipitación (mm), dirección del viento ($^{\circ}$). En marzo del 2017 se introdujo el parámetro velocidad de viento (m/s) y en mayo de 2018 se adicionó el monitoreo de radiación solar (W/m^2). Debido a problemas técnicos o de mantenimiento, la data de junio 2018 a agosto 2018 no fue registrada, así como de ciertas semanas de setiembre 2018 y de forma sostenida en el periodo de marzo 2019 a diciembre 2019, de esta fecha en adelante se tiene data hasta el 25 de julio del 2020 (no incluye parámetro velocidad ni dirección del viento). Por tal motivo, se refuerza la data de velocidad y dirección del viento con la data de la estación Senamhi Von Humboldt del distrito de La Molina.

b. *Monitores de calidad de aire qHawax :*

Los sensores de calidad del aire son operados por el Grupo Qaira S.A.C., el cual oferta una amplia gama de productos (software y hardware) para el monitoreo ambiental e industrial de calidad del aire.

La Municipalidad distrital de San Borja, como agente público activo e incentivador de la investigación científica, proporcionó data meteorológica de la estación de monitoreo de calidad de aire q-H008 'Parque de la Felicidad Pentagonito'. Asimismo, la Municipalidad distrital de Miraflores brindó data de las estaciones qH005 'Óvalo de Miraflores' y q-H007 'Complejo deportivo Manuel Bonilla'; y, finalmente, la Municipalidad Metropolitana de Lima brindó información referente a las estaciones q-H009 'Gruta de la Virgen de Lourdes', q-H012 'Mercado Central Ramón Castilla', q-H016 'Los Pantanos de Villa' y q-H017 'Parque de la Exposición'. En la Figura 14 del Anexo 2 se adjunta el mapa con la ubicación dichos puntos de monitoreo.

Por otro lado, estas estaciones qHawax tienen sensores que monitorean y reportan data promedio de 5 minutos y de forma horaria; del mismo modo, los parámetros de calidad de aire que se monitorean son: CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), CO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), H₂S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); y los parámetros ambientales: ruido(dB), radiación UV, humedad (%), temperatura y presión atmosférica (hPa).

La estación q-H008 (San Borja) ha monitoreado de forma continua los parámetros en mención desde marzo del 2020 hasta la actualidad, a excepción del parámetro NO₂ que el 24 de agosto del 2020 dejó de reportar data. Por tal motivo, se tuvo que interpolar data de las seis (06) estaciones restantes más aledañas al dicho punto, considerando así las estaciones de los

distritos de Miraflores, Chorrillos y Centro de Lima. Se recurrió a este método debido a que realizar una proyección de la estación q-H008, mediante una regresión lineal que relacione el NO₂ histórico (tomado solo el presente año, dado que es un año atípico por la influencia del SARS-Cov-2) y la radiación solar (factor atmosférico directamente relacionado con la fotodisociación de NO₂) no iba a ser factible, puesto que según el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad Ambiental del aire (MINAM, 2019) la suficiencia mínima de información es de al menos 18 horas al día (75% de la data) para poder generar un media aritmética diaria válida, y el registro de la radiación solar (estación Senamhi-San Borja) solo reporta para el rango del fotoperiodo (6:00-18:00, mayoritariamente).

Según la ficha técnica de los monitores qHawax (Grupo Qaira SAC, 2020), la especificación técnica en relación con la precisión se detalla:

Gases: 1-10 ppb
Polvo: 0.01 µg/m³
Temperatura: 0.1 °C
Presión: 1 hPa

Es decir, la precisión representa el grado o nivel de semejanza entre los resultados de una serie de mediciones aplicados bajo un método o equipo determinado y el valor medio de las observaciones (DIGESA, 2005). Por otro lado, para el tratamiento de la data se empleó la guía para el cálculo de promedios comparables (horario y diario) proporcionados en el vigente y actualizado Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad Ambiental del aire (MINAM, 2019).

Por otro lado, se tiene los rangos de identificación de los sensores qHawax :

Monóxido de carbono (CO): 0 – 13 ppm
Dióxido de nitrógeno (NO₂): 0 – 11 ppm
Dióxido de azufre (SO₂): 0 – 11 ppm
Ozono (O₃): 0 – 5 ppm
Sulfuro de hidrógeno (H₂S): 0 – 3 ppm
Material particulado (PM_{2.5}): 0 – 1500 µg/m³
Material particulado (PM₁₀): 0 – 1500 µg/m³
Temperatura: -40 a 125 °C
Humedad relativa: 0 – 100%
Presión atmosférica: 30 – 125 kPa
Radiación UV: 0 – 15 índice
Ruido: 30 – 100 dB

Los valores establecidos son los rangos en los que los monitoreos son capaces de cuantificar los parámetros establecidos (Grupo Qaira SAC, 2020).

c. *WorldClim*

WorldClim es una base de datos que contiene capas estáticas de reanálisis para factores meteorológicos y climáticos globales de alta resolución espacial (aprox. 1 km) basadas en interpolaciones de registros mensuales promedio de las variables temperatura mínima, máxima y media (°C), radiación solar ($\text{kJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), velocidad del viento (m/s), presión de vapor de agua (kPa) y precipitación (mm). Dichos datos se pueden utilizar para mapeo y modelado espacial con fines de investigación y actividades relacionadas. Los productos son de acceso libre y se ofertan tres (03) tipos de registros principalmente: data histórica climática (promedio mensual de 30 años, 1970-2000), data histórica mensual meteorológica (periodo de 10 años, desde 1960-2018) y datos climáticos futuros (proyección basada en data climática). Asimismo, las descargas están disponibles en cuatro (04) resoluciones espaciales: 10 minutos, 5 minutos, 2.5 minutos y 30 segundos (WorldClim, s.f.).

Para esta investigación, se empleó los registros referidos a la data histórica climática con resolución de 30 segundos, puesto que estos ráster ofrecen valores promedio mensuales históricos y permiten generar resultados más confiables y bajo criterios de clima y no solo meteorológicos, los cuales son importantes si se desea ubicar algún proyecto que tenga relación con las variables proporcionadas.

3.3.3. Software de procesamiento de data

Se empleó las siguientes herramientas digitales:

a. Software estadístico R y R Studio:

Este software permite realizar análisis estadístico aplicado a data meteorológica y de calidad de aire mediante la librería OpenAir y las librerías complementarias ggPlot2, PASWR, Magrittr. Asimismo, posibilitó la elaboración de histogramas, matriz de correlación de variables, rosa de vientos y rosa de contaminantes para el periodo de evaluación y meteorogramas y distribución temporal de los parámetros de interés.

b. ArcGIS

Es un software que forma parte del sistema de información geográfica, el cual engloba diferentes componentes como ArcReader, ArcMap, ArcCatalog, ArcScene y ArcGlobe que permiten tratar data tipo ráster, vectorial y Excel. En ese sentido, este programa sirvió para poder interpolar los registros promedio diarios del parámetro NO_2 de seis (06) estaciones qHawax para el punto de interés en San Borja (q-008) mediante la herramienta IDW (esta interpolación en ArcGis fue empleada por Špirić et al. (2014) para la distribución espacial de nitrógeno de su área de estudio). Asimismo, se empleó este software para generar el mapa de

aptitud de ubicación de muros de musgo en el distrito de San Borja mediante las capas de entrada de WorldClim (proporcionan data climática).

c. IBM SPSS Statistics:

Este es un software estadístico que permitió realizar las pruebas estadísticas paramétricas de la data obtenida de los laboratorios y calidad de aire (NO₂). Se emplearon las pruebas de Shapiro-Wilk (verificación de normalidad para data menor a 30 registros), F de Fisher (verificación de la homocedasticidad o igualdad de varianzas) y pruebas de Pearson (para la relación de NO₂ y nitrógeno total en la especie) . Las dos primeras pruebas tuvieron como finalidad demostrar si las variables de interés siguen una distribución normal.

3.4. Operacionalización de Variables

En relación con el numeral 2.4.4 (Variables e Indicadores), en la Tabla 10 se definen las variables y los indicadores requeridos.

Tabla 10
Operacionalización de las variables

Variables	Dimensión	Indicadores
Capacidad de absorción de nitrógeno	Nitrógeno total en especie vegetal	Concentración nitrógeno total (% de nitrógeno)
Capacidad de absorción de material particulado	Sólidos totales en especie vegetal	Concentración de material particulado (mg/cm ² /30d)
Condiciones meteorológicas	Temperatura	Temperatura media diaria
	Humedad relativa	Humedad relativa media diaria
	Velocidad del viento	Velocidad media diaria
	Dirección del viento	Dirección media diaria
Calidad del aire	Dióxido de nitrógeno NO ₂	Concentración media diaria (µg/ m ³)
	Material particulado P.M _{2.5} y P.M ₁₀	Concentración media diaria (µg/ m ³)
Localización de muros verticales	Ubicación de muros en el distrito	Matriz de Saaty

Fuente: Elaboración propia

3.5. Técnicas de Recolección de Datos

Las técnicas de recolección de datos se sostuvieron netamente en los resultados del análisis en laboratorio de ambos métodos señalados previamente.

3.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la Información

El análisis de los datos se realizó sobre el resultado del laboratorio de nitrógeno total mediante el empleo del software IBM SPSS Statistics y las funciones estadísticas de Microsoft Excel. En esta fase se llevó a cabo las pruebas de Shapiro-Wilk (determinación de la normalidad de los datos proporcionados), prueba de homocedasticidad (F de Fisher) y la prueba de relación de Pearson, puesto las pruebas anteriores determinaron el empleo de pruebas paramétricas.

La data meteorológica fue tratada con el uso del software de programación RStudio para poder determinar los histogramas, meteorogramas, rosa de vientos y la rosa de contaminantes con la data proporcionada de las estaciones meteorológicas qHawax y Senamhi.

Por otro lado, las imágenes satelitales de Google Earth Explorer y los archivos shapefile (.shp) fueron tratados y procesados con el uso del software ArcGIS 10.5 (ubicación de los puntos de monitoreo, interpolación de NO₂ y mapas de aptitud, los cuales será desarrollados en el capítulo IV. Desarrollo del experimento). Cabe resaltar que se recurrió a la interpolación, puesto que realizar una proyección de la data mediante un análisis de regresión no fue factible debido a que la estación q-H008 fue instalada en enero de 2020; es decir, no cuenta con data histórica multianual. Del mismo modo, no se emplearon las capas Sentinel-5p, debido a que la resolución de estas genera datos gruesos a nivel distrital.

3.7. Cronograma de actividades y presupuesto

En la Tabla 11 se detalla el cronograma de actividades según las diferentes etapas de la presente investigación:

Tabla 11
Cronograma de actividades de la investigación

Listado de actividades	Duración	Inicio	Fin	Setiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero			
				1*	2*	3*	4*	1*	2*	3*	4*	1*	2*	3*	4*	1*	2*	3*	4*	1*	2*	3*	4*
Nº Elaboración del proyecto final de tesis	128 días	01/09/2020	11/01/2021	[Barra azul que cubre todo el periodo]																			
1 Revisión bibliográfica (planteamiento de estructura del proyecto)	128 días	01/09/20	08/01/21	[Barra azul que cubre todo el periodo]																			
2 Instalación de los puntos de muestreo	1 día	07/09/20	07/09/20	[Barra azul en día 07/09/20]																			
3 Exposición de las muestras	30 días	07/09/20	07/10/20	[Barra azul desde 07/09/20 hasta 07/10/20]																			
3 Recolección de las muestras	1 día	08/10/20	08/10/20	[Barra azul en día 08/10/20]																			
5 Análisis en laboratorio (proceso iniciado semanalmente)	35 días	07/09/20	13/10/20	[Barra azul desde 07/09/20 hasta 13/10/20]																			
6 Tratamiento de resultados	38 días	20/11/20	08/01/21	[Barra azul desde 20/11/20 hasta 08/01/21]																			
7 Redacción de resultados y conclusiones	5 días	03/01/21	08/01/21	[Barra azul desde 03/01/21 hasta 08/01/21]																			
8 Presentación y evaluación del proyecto	1 día	11/01/21	11/01/21	[Barra azul en día 11/01/21]																			

Fuente: Elaboración propia

De forma consecutiva, en la Tabla 12 se detallan los gastos incurridos en el desarrollo de la investigación durante cada etapa del desarrollo de la tesis.

Tabla 12
Inversión en la investigación realizada

Etapas de inversión	Categoría	Recurso	Proveedor	Unidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)	Referencia
Etapas de pre-campo	Estructura	Parantes/ soporte de las muestras	Carpintería	2	150.00	300.00	Boletas de venta
	Estructura	Rejillas/ placas	Comercio	1	25.00	25.00	Boletas de venta
	Materiales	Fibra sintética	Comercio	1	8.00	8.00	Boletas de venta
	Materia orgánica	Musgo <i>Pleurozium quitense</i>	Comercio	500 g	6.00	6.00	Boletas de venta
Etapas de laboratorio	Laboratorio	Análisis por método Kjeldahl	FSC Certificacio nes	10	53.10	531.00	Boletas de venta
	Laboratorio	Análisis de sólidos totales	Alex Stewart Internationa l del Perú S.R.L	2	30	60	Boletas de venta
	Transporte	Transporte de las muestras al laboratorio y costos de movilización relacionados	Comercio	8	15.00	120.00	Boletas de venta
Etapas de análisis	Software	ArcGIS	ESRI	1	0.00	0.00	Versión gratuita

Software	IBM SPSS Statistics	IBM	1	0.00	0.00	Versión gratuita
Software	R	R Studio y R project	1	0.00	0.00	Versión gratuita
Total de inversión					S/ 1 050.00	

Fuente: Elaboración propia

El costo total de la presente investigación fue de S/1 050.00, lo cual ascendió a dicho monto por la tercerización de las pruebas de laboratorio realizadas para las doce (12) muestras de análisis; asimismo, la estructura que se empleó fue diseñada considerando los factores meteorológicos del área de estudio.

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

En el presente capítulo se detallan las actividades realizadas en cada etapa de la fase aplicativa del proyecto. A continuación, se presenta la Figura 2 que sintetiza el procedimiento realizado en la investigación:

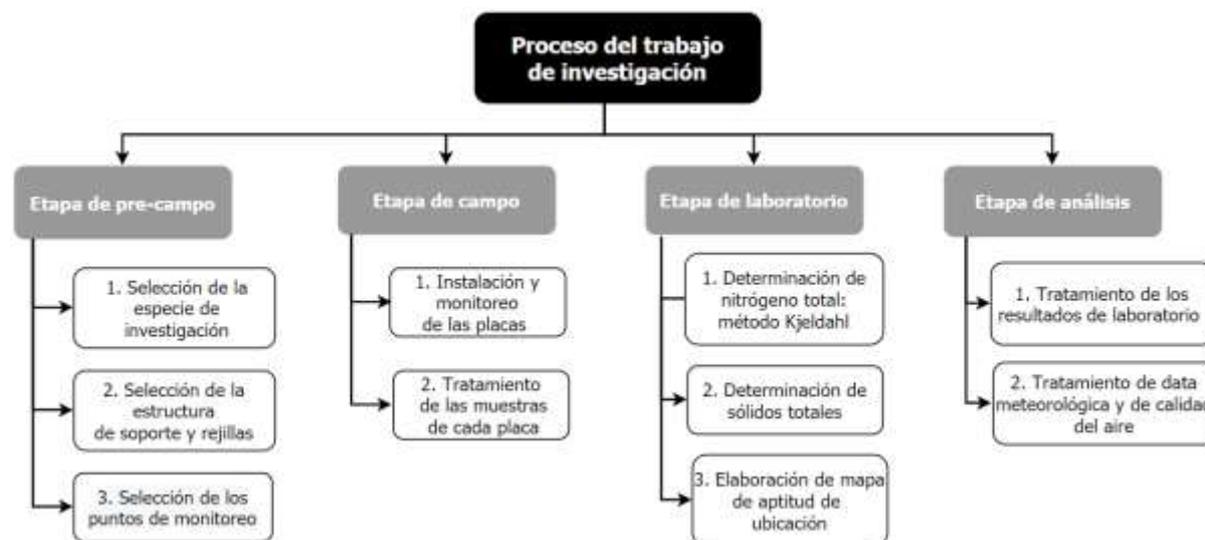


Figura 2 Diagrama del proceso del trabajo de investigación

Fuente: Elaboración propia

4.1. Etapa de pre-campo:

En esta etapa se definió, bajo revisión bibliográfica y escuetos experimentos, la especie idónea para el cumplimiento de los objetivos planteados y la ubicación de los dos (02) puntos

de muestreo.

4.1.1. Selección de la especie de investigación

Primero se inició con la selección de la especie briófita a emplear. Sin embargo, la falta de un inventario nacional de briófitas (Rodríguez et al., 2017), llevó a elegir la especie bajo criterios relacionados a la disponibilidad y diversidad ofertada en el mercado local, grado de degradación física (pigmentación verdosa en los individuos) y preservación de humedad. Estos criterios fueron determinados en campo. En el primer caso, se realizó la búsqueda de las especies que más se comercializaran en los principales puntos de venta de especies vegetales y ornamentales en Lima, seleccionando así las dos (02) especies más ofertadas en el Mercado mayorista de flores de Acho y con ello determinar los siguientes dos criterios propuestos.

La determinación del grado de degradación física (netamente basado en la percepción visual del individuo: verde, marrón, amarillo) y preservación de la humedad se determinaron al exponer las especies obtenidas bajo el primer criterio durante un periodo de tres meses (noviembre-diciembre 2019 y enero 2020, se adjunta el registro fotográfico en la Tabla 28 del Anexo 2). En dicho periodo se logró apreciar los cambios de las especies seleccionadas alineados a los criterios preestablecidos; es decir, la especie seleccionada logró conservar una pigmentación verde de forma más prolongada y mantuvo más humedad durante los riegos en comparación a la segunda especie descartada.

Concluida la determinación de la especie, bajo los factores determinados, se prosiguió con el envío de una muestra al departamento de Briología y Pteridología del herbario del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de San Marcos, centro de investigación que cuenta con un profesional especialista en briología quien desarrolló dos investigaciones sobre inventarios de musgos a nivel local en Cajamarca (Opisso M., 2003) y Cerro de Pasco (Opisso M. & Churchill, 2008). Es así como se determinó la especie a emplear en toda la fase experimental, se describe la posición taxonómica de esta basada en el Sistema de Goffinet y Shaw (revisar Anexo 3 del presente trabajo).

Por otro lado, el pretratamiento elegido para las doce (12) placas de muestras de musgo fue únicamente el lavado con agua durante un lapso de diez (10) minutos y dos (02) veces con la finalidad de mantener la especie viva, no añadir elementos traza y evitar técnicas devitalizadoras utilizadas principalmente en proyectos con fines de bioindicadores. Este tratamiento, lavado con agua, es usado en el 72% de las investigaciones relacionadas al *moss bag biomonitoring* y el número de veces de lavado es de tres (03) en el 47% de los estudios (Ares et al., 2012). Asimismo, según Ares et al. (2012) si el objetivo de la investigación es mantener

vivos a los individuos seleccionados, se procuran técnicas no devitalizadores, como la empleada en este presente proyecto, a diferencia de otros pretratamientos devitalizadores que emplean EDTA y dimercaprol o secado al horno (durante 24 horas a 120 °C), principalmente.

4.1.2. Selección de la estructura de soporte y rejillas

El modelo de la estructura soporte para las muestras fue adaptado de investigaciones previas (Chipoco & Valencia, 2015). Del mismo modo, se eligió la estructura de las placas bajo consideraciones establecidas en la metodología de investigaciones similares previas, tales como (i) la forma de la placa (rejillas insertadas en cada estructura o parente) donde el 36% de los estudios emplearon una forma esférica y el 23% una forma cuadra o rectangular (Ares et al., 2012), y considerando una aplicación fáctica a posteriori, como muros verticales, se optó por elegir formas cuadradas para poder contener y exponer las muestras de musgo; es decir, se diseñaron rejillas cuadradas con medidas de 25 cm x 25 cm (625 cm²).

Por otro lado, la segunda consideración fue (ii) la cantidad de musgo a insertar en cada placa; según Ares et al. (2012) el ratio que se establece entre el tamaño de los contenedores del musgo (rejillas, cápsulas, etc.) y la cantidad insertada determina la eficiencia de captura de contaminantes de la atmósfera; en el mismo sentido, Zechmeister et al. (2006) citado por Ares et al. (2012) recomienda que el musgo se empaquete de manera suelta y en capas delgadas, debido a que esto minimiza la superposición y compresión de los brotes de la especie y con ello la captura de contaminantes. Considerando ambos criterios, Ares et al. (2012) indicó que, según estudios previos, se determinó una ratio de 30 $\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$ (dentro de un rango analizado de 10 $\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$ a 50 $\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$) como óptimo y adecuado para un máximo consumo. Por lo cual, el presente trabajo empleó 30-40 g de musgo por cada 625 cm² (superficie total de la rejilla); es decir, 48 $\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$ aproximadamente (cercano al óptimo recomendado) y se dispuso las muestras de musgo en capas delgadas dentro de cada rejilla.

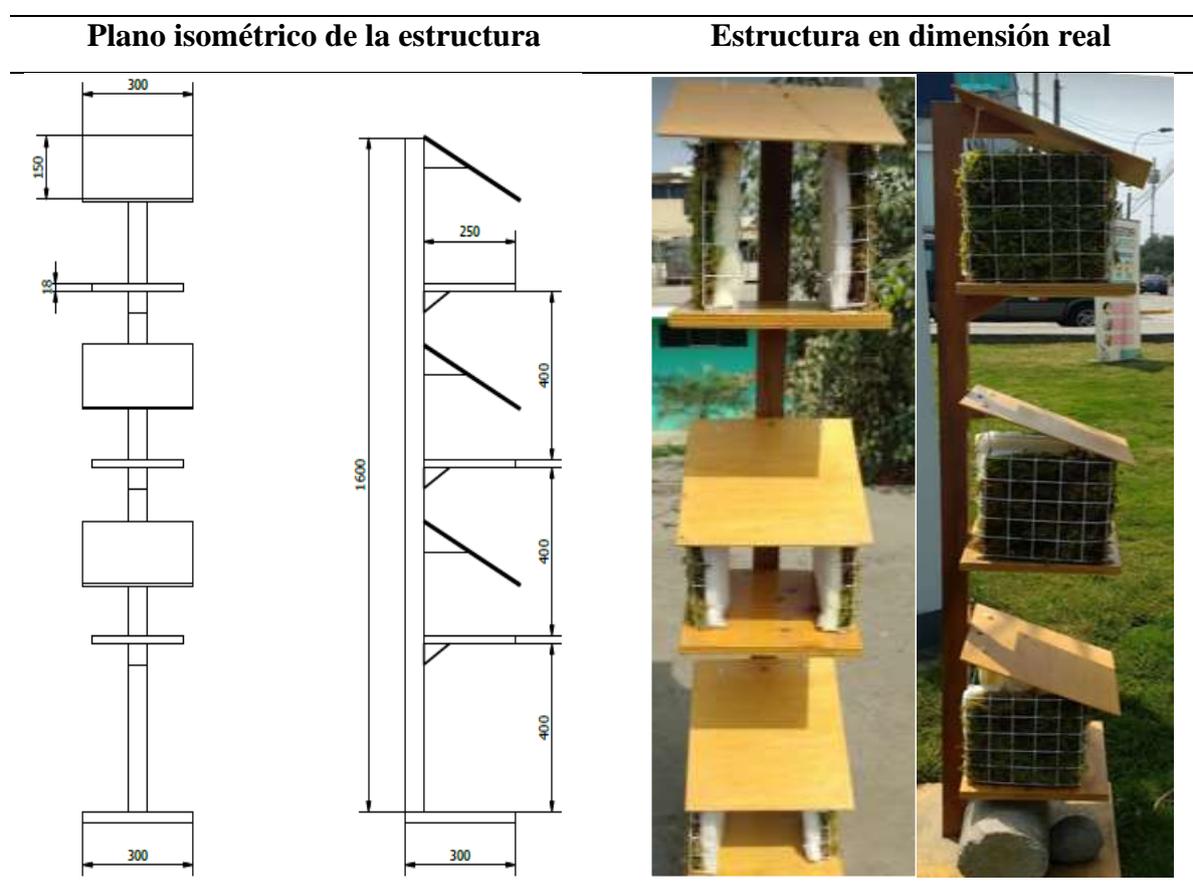
La tercera consideración fue (iii) la posición de las placas de musgo, la cual se basó en la dirección a la principal fuente emisora (parque automotor), modelo de muros verticales de musgo y por lo recomendado por Ares et al. (2012) que indica que una ubicación vertical permite la captura de contaminantes presentes en el aire (gases y pequeñas partículas con bajas tasas de sedimentación) desde el flujo de viento horizontal hacia las placas de musgo.

Finalmente, la cuarta consideración fue (iv) el material de las placas, entre el tipo de material que más destaca en las investigaciones se encuentra el plástico: nailon (71%), polipropileno (5%), polietileno (3%) o plástico no especificado (17%) (Ares et al., 2012). Por

lo cual, se ha determinado que el material de las rejillas sea de plástico y el recubrimiento posterior de fibra sintética (considerar que no se tiene contacto con ningún tipo de sustrato).

El material de la estructura o parante es madera cachimbo de 2x2 pulgadas, la base es de triplay fenólico de 18 mm de espesor, los techos son de triplay luna de 4 mm de espesor y los acabados fueron recubiertos con laca piroxilina color natural para proteger la estructura de la humedad y radiación solar. En la Tabla 13 se presentan los planos de la estructura y las placas de musgo en dimensión real. Cabe resaltar que los planos se encuentran en el Anexo 3 y se ha visto por conveniente presentarlos en este capítulo para facilitar la esquematización del lector.

Tabla 13
Planos de estructura y estructura en dimensión real



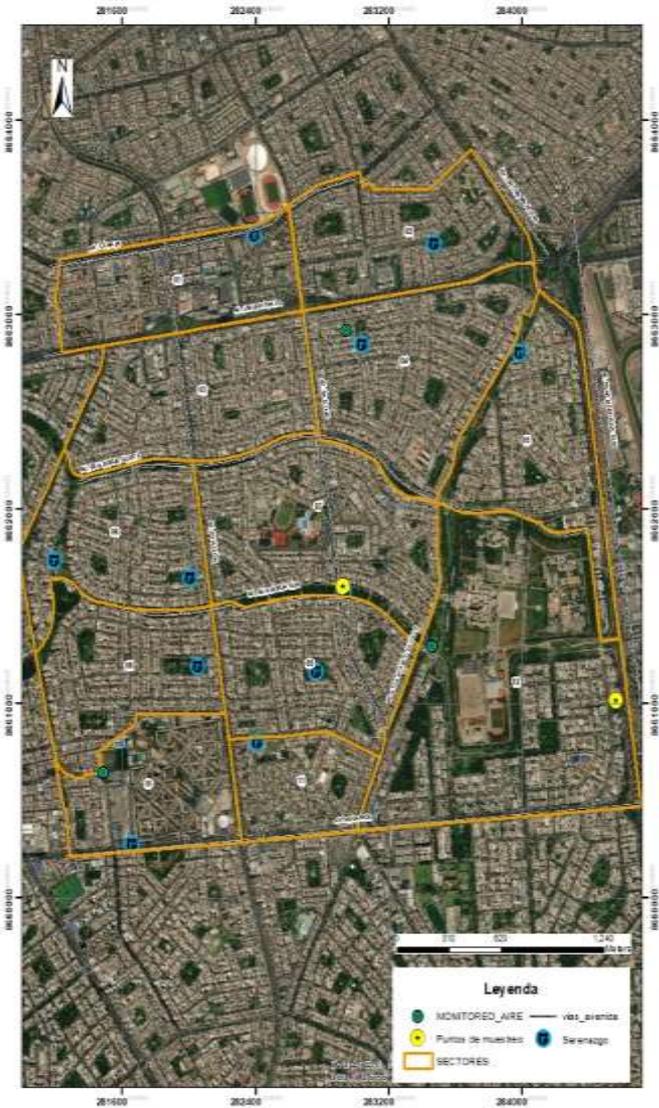
Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Selección de los puntos de monitoreo

La ubicación de los puntos de muestreo fue elegida por conveniencia, debido a temas administrativos y el actual contexto nacional (propagación del SARS-Cov-2) que restringió la ampliación del panorama para los puntos de muestreo. Por tal motivo, se estableció una exposición de muestras en triplicata en dos (02) puntos de muestreo. Del mismo modo, se empleó el software ArcGIS 10.5 para determinar bajo criba de factores (distancia buffer de 5

m de barreras vivas como árboles, cercanía a la fuente contaminante, cercanía a puntos de seguridad y facilidad para brindar mantenimiento y riego a las muestras) la ubicación óptima de dichos puntos, tomando relevancia: la estación de serenazgo de San Luis y en el vivero de Kallpa. Para poner en contexto y facilitar la descripción de esta etapa, se presenta la Tabla 14:

Tabla 14
Ubicación y puntos de muestreo

Mapa de ubicación	Punto de muestreo 1
 <p>Mapa de ubicación del distrito de San Borja, Lima-Perú. El mapa muestra una cuadrícula de sectores delimitados por líneas amarillas. Se han marcado varios puntos de muestreo con círculos de colores: uno verde (MONITOREO_AIRE), uno amarillo (Puntos de muestreo) y varios azules (Serenazgo). Se muestran también las vías principales (vías_avenidas). El mapa incluye una escala de 0 a 150 metros y una leyenda en la parte inferior.</p>	 <p>Fotografía del punto de muestreo 1, un vivero con una estructura de muestreo. La estructura es una torre de madera con tres niveles de mallas metálicas para las muestras. En el fondo se ve un cartel que dice "San Borja ACTITUD".</p>
	Punto de muestreo 2
	 <p>Fotografía del punto de muestreo 2, una estructura de muestreo en un área urbana. La estructura es una torre de madera con tres niveles de mallas metálicas para las muestras, ubicada en un espacio público con un estacionamiento y un autobús en el fondo.</p>

Fuente: Elaboración propia

El Punto de muestreo 1 “Estación de serenazgo San Luis” se ubica en la intersección de la Avenida San Borja Sur y San Luis, se encuentra en el área verde que pertenece a la estación de serenazgo del Sector 7 de la municipalidad de San Borja (los árboles se encuentran a más de 12-15 m de distancia). Mientras que el Punto de muestreo 2 “Vivero Kallpa Wasi” se encuentra muy próximo a la avenida Evitamiento o Panamericana Sur (entre el paradero Jockey Plaza y Puente Primavera), está ubicado en el techo del Taller de mantenimiento del Vivero de Kallpa Wasi el cual se encuentra en el Sector 12 del distrito de San Borja. Se determinó dichos puntos bajo los criterios en los apartados previos.

4.2. Etapa de campo:

En esta fase se instalaron las estructuras, visualizadas en la tabla previa, del mismo modo se detallan los cuidados y frecuencia de monitoreo de las muestras.

4.2.1. *Instalación y monitoreo de las placas*

La instalación se llevó a cabo en los puntos determinados en la fase previa. El tiempo de exposición de las muestras fue de cuatro (04) semanas, periodo recomendado dentro del rango de 30 a 60 días empleados en el 41% de estudios previos (Ares et al., 2012). Siguiendo este orden y debido a que el objetivo principal de esta investigación conlleva a determinar la capacidad de absorción y no emplear las muestras de musgo como un bioindicador, se estableció un riego programado de 50 ml aproximadamente por cada placa o rejilla de muestra dos veces por semana (miércoles y sábados). Durante el lapso de riego de ambos días, también se procedió a realizar la inspección y determinación de cualquier situación anómala o posible daño a las estructuras o placas.

4.2.2. *Tratamiento de las muestras*

A través de una frecuencia semanal se recolectó una muestra de cada estación (Kallpa Wasi y Serenazgo) para luego ser enviada al laboratorio; es decir, se enviaron dos (02) muestras semanales. El postratamiento consistió en almacenar las muestras en bolsas individuales herméticas (sistema zip-lock) para evitar la pérdida de material y la contaminación de las muestras (Ares et al., 2012) durante su traslado a los laboratorios respectivos. En ese mismo sentido, Morita et al. (1997) citado por Ares et al. (2012), recomendó almacenar las muestras en temperaturas bajas (es decir, -20 °C) para evitar cualquier degradación por actividad bacteriana; no obstante, en la presente investigación se obvió esta temperatura de almacenamiento puesto que el transporte desde ambos puntos de muestro a los laboratorio era inmediato y de corto desplazamiento (tiempo de traslado máximo de 4 minutos al Laboratorio

FSC Certificaciones y de 12 minutos al Laboratorio Alex Stewart Internacional, cabe resaltar que durante el periodo de investigación el tránsito vehicular era limitado y por ende, había menor tráfico) a diferencia de largos tramos o difícil acceso que comprenden otros proyectos.

4.3. Etapa de laboratorio

Los análisis en laboratorio requeridos fueron “Nitrógeno total por Kjeldahl” en diez (10) muestras para determinar la correlación de la concentración de nitrógeno con los óxidos de nitrógeno del ambiente (Špirić et al., 2014) y el método de Sólidos totales a 103-105°C del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* en las dos (02) muestras restantes, con la finalidad de determinar el material particulado en las especies vegetales seleccionadas (Chipoco & Valencia, 2015). Ambos análisis fueron tercerizados por dos laboratorios: FSC Certificaciones (determinación de nitrógeno por el método Kjeldahl) y Alex Stewart International del Perú S.R.L (determinación de sólidos totales), ambos acreditados por INACAL para mantener la confiabilidad de los datos proporcionados. En consecuencia, se tiene que los métodos indicados están debidamente validados y son de aplicación estándar. Es válido y necesario resaltar que el presente proyecto, en su fase inicial, pretendía determinar ambos parámetros mediante el empleo de equipos y materiales proporcionados por la universidad ESAN o en el laboratorio de otro centro de educación superior; sin embargo, la coyuntura nacional limitó y restringió el acceso a las instalaciones educativas como medida de prevención frente a la propagación del SARS-Cov-2, por lo cual se concluyó de forma conveniente llevar adelante la presente investigación y contratar los servicios de determinación de los contaminantes objetivo.

A pesar de haber tercerizado los servicios de laboratorio se detalla el procedimiento de cada uno, de forma teórica y complementaria.

4.3.1. Determinación de nitrógeno total mediante el método Kjeldahl

La determinación de nitrógeno total por el método Kjeldahl es oficial y se encuentra descrito en múltiples normativas, tales como: ISO, USEPA, DIN y distintas Directivas Comunitarias (Pan, 2011). Este método conlleva de tres (03) etapas:

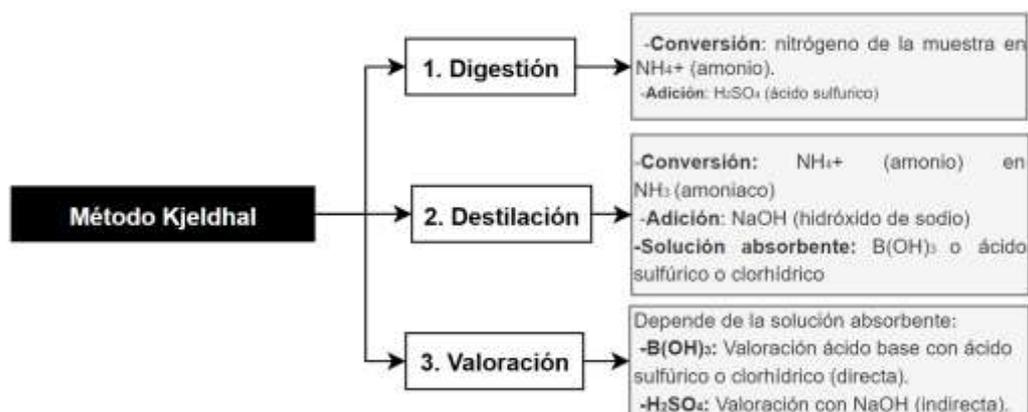
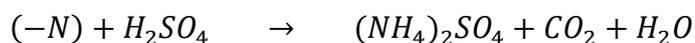


Figura 3 Fases resumidas del método Kjeldahl
Fuente: Elaboración propia basada en Pan (2011)

El detalle del procedimiento se base en la determinación de nitrógeno en especies de musgo(Špirić et al., 2014) y el método Kjeldahl en general (Pan, 2011). En la primera etapa, digestión, se realizan los siguientes pasos:

- Pesar 5 g de la muestra de musgo
- Introducir la muestra pesada en un matraz de digestión y luego se añade 20 mL de H₂SO₄ al 98%. Seguidamente, se añaden 2 tableta Kjeldahl de 5 g de catalizador de Missouri.
- Conducir la muestra del matraz al bloque calefactor y mantener a 350 °C - 380 °C durante 180 minutos o hasta percibir la aparición de humo color blanco. Al costado se debe instalar el lavador de gases o *scrubber*.
- Añadir 100 ml de agua y dejar enfriar la muestra

La reacción de esta etapa se detalla líneas abajo. Donde el compuesto reactivo es H₂SO₄ (ácido sulfúrico) y el ion nitrógeno, los compuestos producto son (NH₄)₂SO₄ (sulfato de amonio) CO₂ (dióxido de carbono) y H₂O (agua).



En la segunda etapa, destilación, se realizan los siguientes pasos:

- Añadir 50 ml de NaOH al 50% a la muestra digerida: esta adición neutraliza el pH y convierte el amonio (NH₄⁺) en amoniacó (NH₃)
- Después de ser condensado el amoniacó este es captura por una solución de B(OH)₃ (ácido bórico), virando de color rojo violeta a verde (el viraje demora aproximadamente 5 minutos). Los productos son NH₃(amoniacó), Na₂SO₄ (sulfato de sodio) y H₂O.



Finalmente, en la tercera etapa, la valoración, se realizan los siguientes pasos:

- Valorar con 0.1 mol/L de HCl hasta que el color vire a morado

La reacción de esta etapa es la siguiente. Donde los reactivos son $B(OH)_4^-$ (tetrahidroxiborato) y HCl (cloruro de hidrógeno).



4.3.2. Determinación de sólidos totales mediante el Método del “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”

El procedimiento experimental aplicado a la determinación de sólidos totales en especies vegetales se describe en base a la revisión bibliográfica aplicada en tesis de investigaciones previas y en función a lo indicado a los profesionales del laboratorio según las especificaciones deseadas. Por otro lado, se describe el proceso para la determinación de Sólidos totales a 103-105 °C dentro del compendio del “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. Este método se resume en el siguiente diagrama:

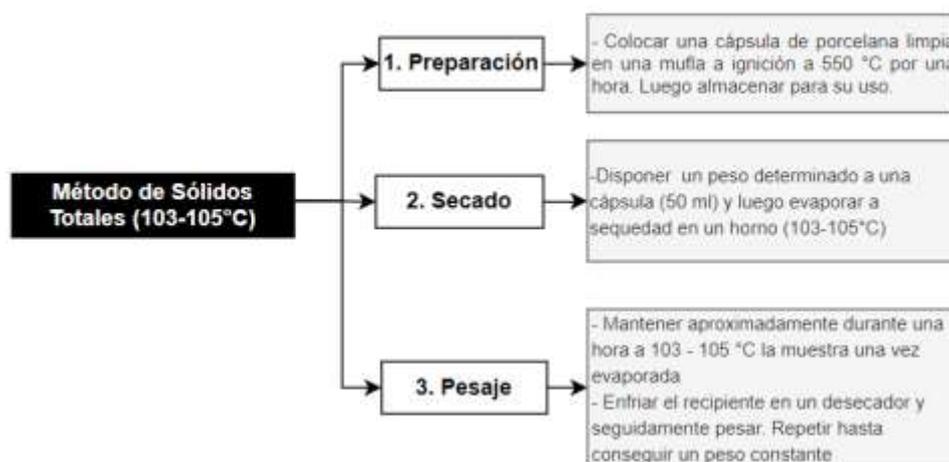


Figura 4 Fases resumidas del método Sólidos Totales

Fuente: Elaboración propia basada en Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” (2003) Chipoco & Valencia (2015)

Asimismo, se describe de forma detallada el procedimiento, según lo expuesto en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998) citado y traducido por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” (2003) y Chipoco & Valencia (2015) :

- Colocar una cápsula de porcelana limpia en una mufla a ignición a 550 °C por una hora. Enfriar, desecar, pesar y guardar la cápsula en un desecador para su uso.
- Transferir una porción conocida de la muestra a la cápsula (50ml de agua) y evaporar a sequedad en un horno de secado a una temperatura de 98 °C para evitar ebullición y

salpicaduras. Elegir un volumen de muestra que produzca un residuo mínimo de 25 a 250 mg.

- Mantener aproximadamente durante una hora a 103 - 105 °C la muestra una vez evaporada
- Enfriar el recipiente en un desecador y seguidamente pesar
- Repetir el ciclo de secado a 103 - 105 °C, enfriando, desecando y pesando hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor que el 4% del peso previo o 0.5 mg.

Los cálculos se describen en función a los indicado por Chipoco & Valencia (2015):

$$\frac{\text{mg Sólidos totales}}{L} = \frac{(A - B) \times 1000}{ml} \text{ de muestra}$$

Donde:

A= peso de muestra seca + cápsula (mg)

B= peso de cápsula (mg)

Asimismo, la disolución de la muestra seca se realizó en 50 ml de solución según lo indicado en dicha metodología; es decir, todos los pasos seguidos son estandarizados y con aplicación a especies vegetales.

Por otro lado, los resultados se transformaron de mg/L a mg/cm²/30d y se comparó con los resultados de las especies *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia Cordifolia*. Si bien, esta comparación no se da con data de igual distribución espacio-temporal, ésta se llevó a cabo en un área urbana, distrito de Cieneguilla, (Chipoco & Valencia, 2015) y bajo el mismo método estandarizado Sólidos totales a 103-105 °C (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*), por lo cual la comparación sería válida para poder evidenciar la diferencia de absorción respecto a la especie *Pleurozium quitense*.

4.3.3. Mapa de aptitud de ubicación para *Pleurozium quitense*

Un mapa de aptitud se fundamenta en un análisis de evaluación multicriterio mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) para identificar los sitios con mejor aptitud para un determinado proyecto en un área de interés, cuyas variables seleccionadas son ponderadas mediante diversos métodos como el de combinación lineal ponderada, matriz de pares de Saaty, entre otros (León et al., 2018).

En tal sentido para la elaboración del mapa de aptitud, tercer objetivo del trabajo de investigación, se empleó la metodología del Análisis Multicriterio, capas estáticas de reanálisis de WorldClim y archivos shapefile para poder tratar la data mediante el software ArcMap 10.5.

Los criterios más influyentes en la ubicación de dichos muros fueron tres (03): nivel de radiación solar, la presión de vapor actual y la cercanía a principales vías públicas. Se detallan los criterios:

Relacionados al hábitat de la especie:

- 1. Radiación solar:** se definió este criterio debido a que las briófitas como el musgo y especialmente el *Pleurozium quitense*, son especies que pueden ser afectadas directamente por la radiación solar (Glime & Gradstein, 2019). Asimismo, la exposición a altos niveles de radiación solar directa puede ser dañina para las especies (afectando la coloración y funcionalidad si no tiene una buena capacidad de adaptación a luz solar).
- 2. Presión de vapor de agua:** se definió este criterio debido a que la humedad relativa es el porcentaje (%) de presión de vapor que tiene el aire respecto de la máxima que puede tener a esa temperatura. Asimismo, la humedad es uno de los factores primordiales para la distribución de las briófitas en los trópicos (Glime & Gradstein, 2019).

Relacionado al interés del proyecto:

- 3. Cercanía a vías públicas:** se eligió este criterio en función a que es la principal fuente emisora de contaminantes de NO₂ y material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}). Asimismo, se establece un área buffer de 10 m a estas vías (se toma en cuenta y se relaciona lo indicado en el Protocolo de Monitoreo de Calidad de aire la estación no debe estar a más de 10 m de la fuente emisora).

La ponderación de los criterios elegidos se asignó a través del Método de Comparación por pares de Saaty y la colaboración de dos (02) expertos en biología (Dra. Mayra Arauco y Mg. Juan Torres Guevara) quienes aportaron mediante sus conocimientos técnicos los respectivos pesos a cada criterio seleccionado y una (01) última ponderación realizada por la investigadora de esta tesis.

En la Tabla 15, se visualiza el cuadro empleado para la ponderación realizada:

Tabla 15

Resultados de análisis de nitrógeno método Kjeldahl y criterios de ponderación de importancia

Matriz de Saaty

Criterios seleccionados	Radiación Solar	Presión de vapor de agua	Cercanía a vías públicas
--------------------------------	------------------------	---------------------------------	---------------------------------

Radiación Solar	1	2	1/4	2	4	4	6
Presión de vapor de agua	-		1		4	6	6
Cercanía a vías públicas	-		-			1	

Fuente: Elaboración propia

Las ponderaciones fueron obtenidas en base a la siguiente escala:

1/10	1/8	1/6	1/4	1/2	1	2	4	6	8	10
Extrema	Muy fuerte	Fuerte	Modera- rada	Ligera	Igual	Ligera	Mode- rada	Fuerte	Muy fuerte	Extrema

Fuente: Elaboración propia basada en el Método de Saaty

De cada matriz ponderada por los expertos se procedió a determinar su consistencia, según lo indicado en el método de Saaty, por lo cual se normalizó la matriz y se determinó la razón de consistencia (Ci) y el coeficiente de consistencia (CR) los cuales deben ser menores al 10% para validar la consistencia general de la matriz (se adjunta en el Anexo 2 y 3, validación de las matrices y la ponderación realizada por cada experto, respectivamente).

4.4. Etapa de análisis

4.4.1. Tratamiento de los resultados de laboratorio

El tratamiento de la data remitida por los laboratorios se realizó mediante el software IBM SPSS Statistics. Primero se comprobó la normalidad de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad por lo cual se procedió a realizar pruebas paramétricas. En función a esto, se utilizó la prueba de relación de Pearson para relacionar las variables de Dióxido de nitrógeno atmosférico y el nitrógeno total de la especie.

4.4.2. Tratamiento de la data meteorológica y de calidad de aire

El tratamiento de la data meteorológica se realizó mediante la librería OpenAir del software RStudio, mediante el cual se elaboró los meteorogramas de temperatura, humedad relativa, la rosa de viento (velocidad y dirección del viento) y rosa de contaminantes (PM_{2.5} y PM₁₀) para el periodo de investigación. Por otro lado, se empleó el software ArcGIS para determinar la concentración media diaria mediante la herramienta IDW (interpolación en ArcMap empleada por Špirić et al. (2014) y seis (06) estaciones de calidad de aire qHawax de los distritos de Miraflores, Chorrillos y Cercado de Lima.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El desarrollo de este capítulo se divide en dos fases: presentación de resultados (de laboratorio, de calidad de aire, mapa de aptitud) y la discusión de este. Por lo cual se procede a la descripción de los principales resultados, cuyo respaldo estadístico y técnico será adjuntado en la sección del Anexo 3 del presente trabajo de investigación.

5.1. Resultados de laboratorio

En este ítem se presentan los resultados de las pruebas Kjeldahl y Sólidos totales a 103-105°C derivados a los dos (02) laboratorios acreditados por INACAL, para el respectivo análisis.

En la Tabla 16, se presentan los resultados de la fase de desarrollo del experimento de análisis en laboratorio:

Tabla 16
Resultados de análisis de nitrógeno método Kjeldahl

	Vivero Kallpa Wasi (%)	Serenazgo San Luis (%)
10/ 09/ 2020	0.66	0.64
16/ 09/ 2020	0.95	0.95
23/ 09/ 2020	1.05	1.06
30/ 09/ 2020	0.99	0.92
07/ 10/ 2020	1.06	1.03

Fuente: Laboratorio FSC Certificaciones

Los promedios aritméticos de cada punto de muestreo indican valores de 0.942% (rango de 0.66% a 1.06%) en el punto de muestreo Vivero Kallpa Wasi y de 0.920% (rango de 0.64% a 1.06%) en el punto del Serenazgo de San Luis. Del mismo modo, en la Tabla 17 se presenta la aplicación de las pruebas estadísticas paramétricas para dichos datos, de ello se obtuvo que no existe una relación significativa entre la concentración de Dióxido de nitrógeno y el nitrógeno total en las muestras del punto de muestreo de Kallpa Wasi ($\rho=-0.567$) ni en el segundo punto Serenazgo ($\rho=-0.529$).

Tabla 17
Resultados estadísticos de dióxido de nitrógeno atmosférico y nitrógeno total

Pruebas paramétricas		
Variable	n	p-valor
Prueba de Shapiro-Wilk		
NKallpa	5	0.058
NSerenazgo	5	0.301
NO ₂	5	0.995
Prueba de Pearson		
NO ₂ / NKallpa	5	-0.567
NO ₂ / NSerenazgo	5	-0.529

Fuente: IBM SPSS Statistics

Por otro lado, en la Tabla 18 se presentan los resultados de laboratorio para la determinación de sólidos totales en el cuadro líneas abajo. Asimismo, la capacidad de absorción fue calculada para ambos puntos de muestro a partir de los resultados brindados por el laboratorio (detallados en la tabla adjunta) y la metodología de la revisión bibliográfica respecto a la dicha determinación:

Tabla 18
Resultados de análisis de sólidos totales

Estación	Peso Cápsula	Peso de muestra	Peso cápsula+ muestra	Peso cápsula +muestra seca	Humedad	Sólidos totales		Capacidad de absorción ¹
	(g)	(g)	(g)	(g)	%	mg/L	mg/L	(mg/cm ² /30d)
1. Serenazgo San Luis	104.0044	5.122	109.1264	108.4199	13.79	86.21	86.26	0.3907
	101.1722	5.7976	106.9698	106.1766	13.68	86.32		
2. Vivero Kallpa Wasi	97.2595	5.1759	102.4354	101.787	12.53	87.47	87.42	0.3958
	101.2966	5.5748	106.8714	106.1672	12.63	87.3		

Fuente: Laboratorio Alex Stewart International del Perú S.R.L

¹Datos obtenidos en la investigación

Del mismo modo, en la Tabla 19 se presentan los resultados de sólidos totales de las especies a comparar, mediante el mismo método indicado para las muestras de *Pleurozium quitense*. Se tiene:

Tabla 19
Resultados de análisis de sólidos totales en Schinus terebinthifolius y Aptenia cordifolia

Especies	Resultados de laboratorio	Capacidad de adsorción
	(mg/cm ² /30d)	(mg/cm ² /30d)
Molle (<i>Schinus terebinthifolius</i>)	0.6408	1.1808
	0.9071	
	1.9947	
Señorita (<i>Aptenia cordifolia</i>)	0.1178	0.7065
	0.6995	
	1.3022	

Fuente: Elaboración propia basada en los resultados de Chipoco & Valencia (2015)

5.2. Resultados de calidad de aire

Durante el periodo de experimentación (segunda a cuarta semana del mes de setiembre y

primera semana del mes de octubre) se evaluaron las variables meteorológicas de temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad de viento; así como, las variables de calidad de aire $PM_{2.5}$, PM_{10} y NO_2 . Todas las variables se obtuvieron a partir de la data de la estación q-H008 Pentagonito a excepción de la dirección y velocidad de viento que se obtuvo de la estación meteorológica de Senamhi “Von Humboldt” de La Molina (la estación Senamhi de San Borja presenta data histórica muy discontinuada y sin registro para el periodo de investigación); del mismo modo, la variable NO_2 se obtuvo mediante interpolación de seis (06) estaciones qHawax de los distritos de Miraflores, Chorrillos y Cercado de Lima.

Considerando ello, en la Figura 5 se contempla que en el periodo de experimentación se han registrado treinta y nueve (39) excedencias continuas horarias (3 a más registros consecutivos mayores a $50 \mu g/m^3$, según D.S N° 003-2017) de $PM_{2.5}$, la data para dicho parámetro evidenció un valor medio de $19.349 \mu g/m^3$, en el tercer cuartil (75% de datos) se registraron valores por debajo de $29.035 \mu g/m^3$; asimismo, se registró un valor máximo de $87.259 \mu g/m^3$ (se adjunta los gráficos de la data del mes de setiembre y octubre en la sección del Anexo 1).

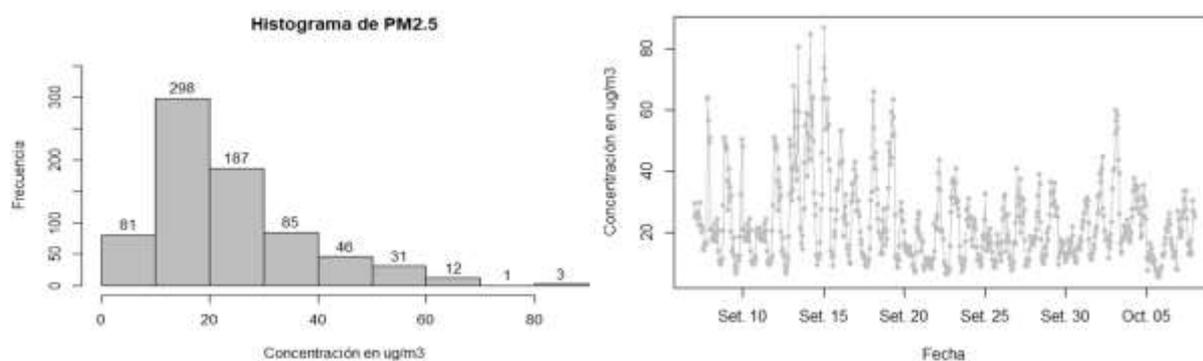


Figura 5 Histograma y serie de tiempo de $PM_{2.5}$
Fuente: Elaboración propia mediante el software RStudio

Para el parámetro PM_{10} se registraron veinticuatro (24) excedencias continuas horarias (de 3 a más registros consecutivos mayores a $100 \mu g/m^3$, según D.S N° 003-2017), el valor medio para la data de dicho periodo registró un valor de $49.39 \mu g/m^3$, el tercer cuartil (75% de datos) se encontró por debajo de $66.54 \mu g/m^3$; asimismo se registró un valor máximo de $169.31 \mu g/m^3$ durante el periodo de investigación. Ello se visualiza en la Figura 6:

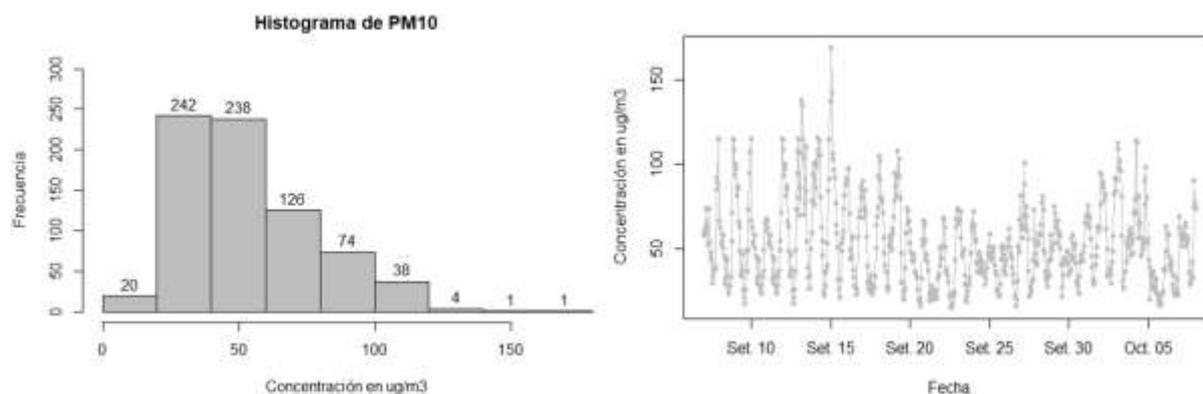


Figura 6 Histograma y serie de tiempo de PM_{10}
 Fuente: Elaboración propia mediante el software RStudio

Asimismo, se tiene el parámetro NO_2 , cuyos datos medios diarios se obtuvieron mediante una interpolación de seis (06) estaciones qHawax, no se registraron excedencias continuas horarias (3 a más registros consecutivos mayores a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según D.S N° 003-2017) para este parámetro durante el lapso de investigación. Asimismo, el valor medio para la data de dicho periodo registró un valor de $50.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el tercer cuartil (75% de datos) se encontró por debajo de $52.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$; del mismo modo, se registró un valor máximo de $58.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el periodo de investigación. Ello se visualiza en la Figura 7:

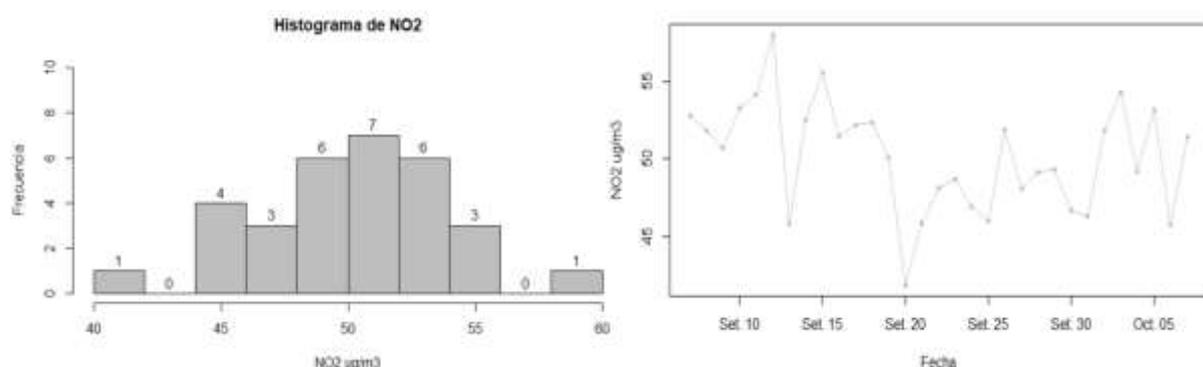


Figura 7 Histograma y serie de tiempo de NO_2
 Fuente: Elaboración propia mediante el software RStudio

Por otro lado, la data meteorológica se tiene la descripción de la temperatura y humedad relativa para el periodo de investigación. Considerando ello, se tiene que para el parámetro temperatura media ($^{\circ}\text{C}$) se evidenció un valor promedio de 15.83°C , en el tercer cuartil (75% de datos) se registraron valores por debajo de 17.72°C ; asimismo, se registró un valor mínimo de 13.34°C y valor máximo de 24.56°C . Se adjunta los gráficos de la data del mes de setiembre y octubre en la sección del Anexo 1. Ello se visualiza en la Figura 8:

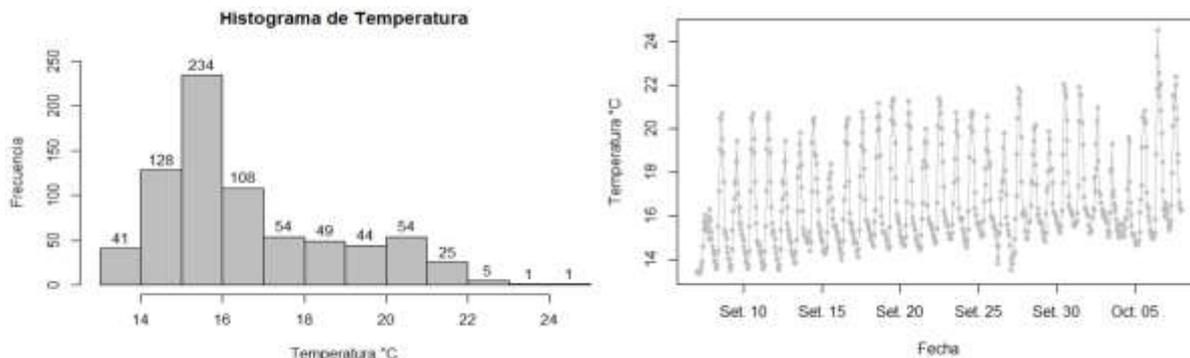


Figura 8 Histograma y meteorograma de Temperatura
Fuente: Elaboración propia mediante el software RStudio

Para el parámetro Humedad relativa (%) se evidenció un valor medio de 94.17 %, en el tercer cuartil (75% de datos) se registraron valores por debajo de 96.20 % (no incluye a dicho valor); asimismo, se registró un valor mínimo de 63.07 % y valor máximo de 96.20 %. Ello se visualiza en la Figura 9:

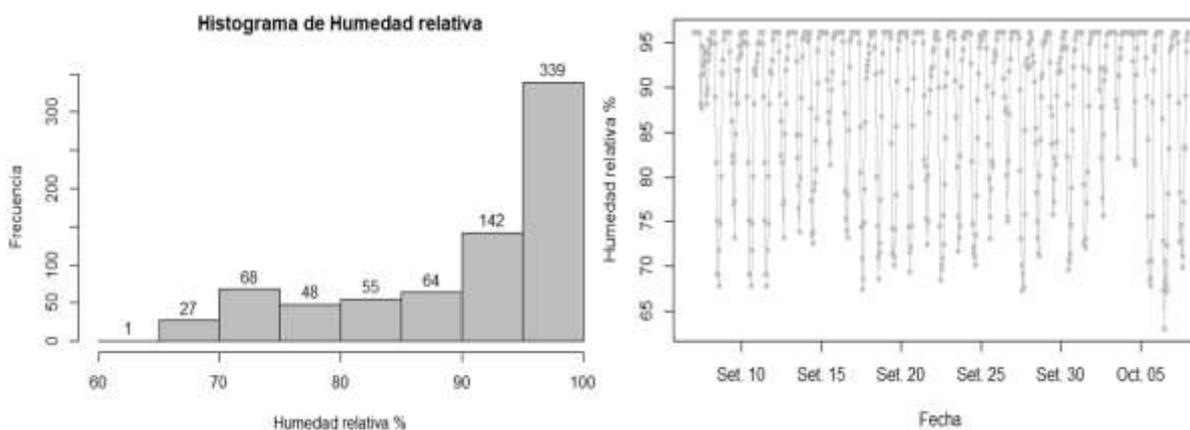


Figura 9 Histograma y meteorograma de Humedad Relativa
Fuente: Elaboración propia mediante el software RStudio

Para el parámetro velocidad y dirección del viento se elaboró una rosa de vientos del periodo de evaluación. En la figura 10, se verifica que la dirección de los vientos es predominantemente de oeste; del mismo modo, la velocidad de estos varía desde 0 m/s (vientos de calma) hasta 9.7 m/s (vientos de brisa fresca).

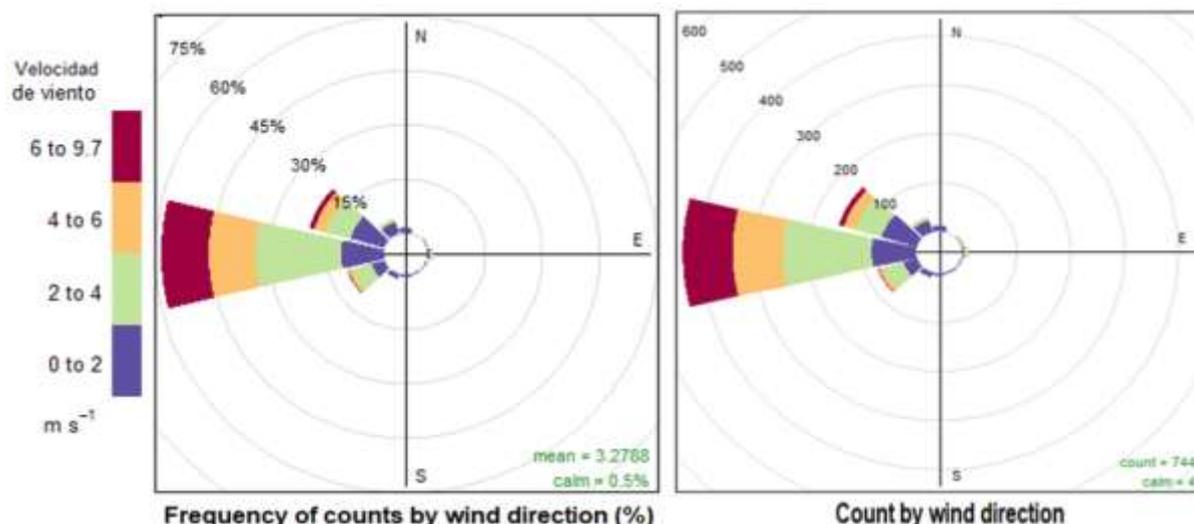


Figura 10 Rosa de vientos
Fuente: Elaboración propia mediante el software RStudio

Por otro lado, se han elaborado las rosas de contaminantes para los parámetros de $PM_{2.5}$ y PM_{10} en comparación con las variables meteorológicas temperatura, humedad relativa y velocidad de viento (solo se muestran las principales gráfica, el resto se encuentra en la sección del Anexo 1). En la Figura 11 se muestra la variación de los parámetros de calidad de aire por cuartiles (mínimo a máximo valor).

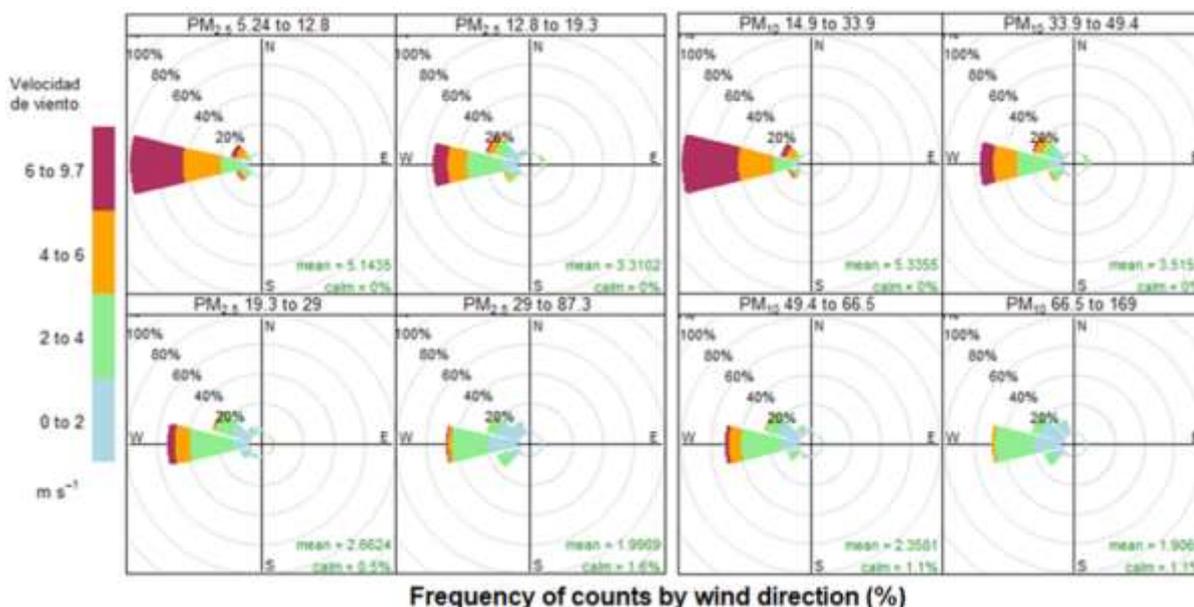


Figura 11 Rosa de contaminantes
Fuente: Elaboración propia mediante el software RStudio

Asimismo, se puede observar en la Figura 12 la matriz de correlaciones entre las variables meteorológicas y de calidad de aire de la estación en estudio. Cada número se expresa como el coeficiente de correlación de Pearson en escala centesimal, de modo que una relación

directamente proporcional perfecta equivale a 100, mientras que una relación inversamente proporcional perfecta equivale a -100. Asimismo, cada forma y color está en función al grado de relación de las variables, donde una forma circular indica que las variables no guardan relación entre sí hasta un forma lineal que indica que existe una relación perfecta entre dichas variables; de la misma manera, los colores más amarillos indican menor correlación hasta las tonalidades rojas que indican una mayor correlación.

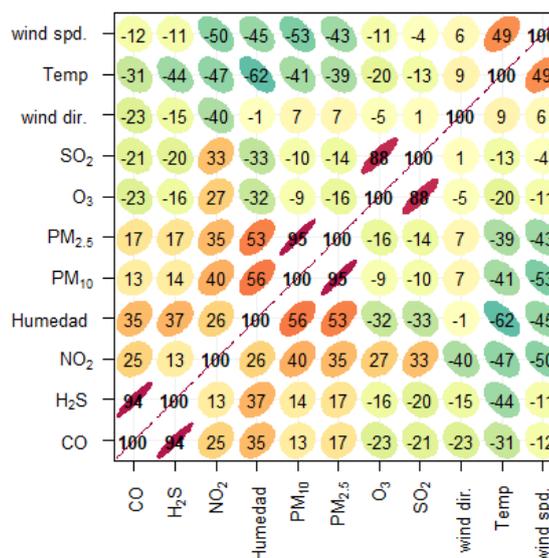


Figura 12 Correlación de variables meteorológicas y de calidad de aire
Fuente: Elaboración propia mediante el software RStudio

5.3. Resultados del mapa de aptitud de ubicación

A partir de la matriz de Saaty, ponderación de tres (03) expertos, se introdujo los valores medio ponderados de cada variable. Los resultados de dicha ponderación indican que los valores promedio obtenidos son 0.4502 para el criterio de Radiación solar, 0.4612 para la Presión de vapor de agua y 0.0885 para la cercanía a vías públicas. El resultado final se aprecia en la Figura 13:

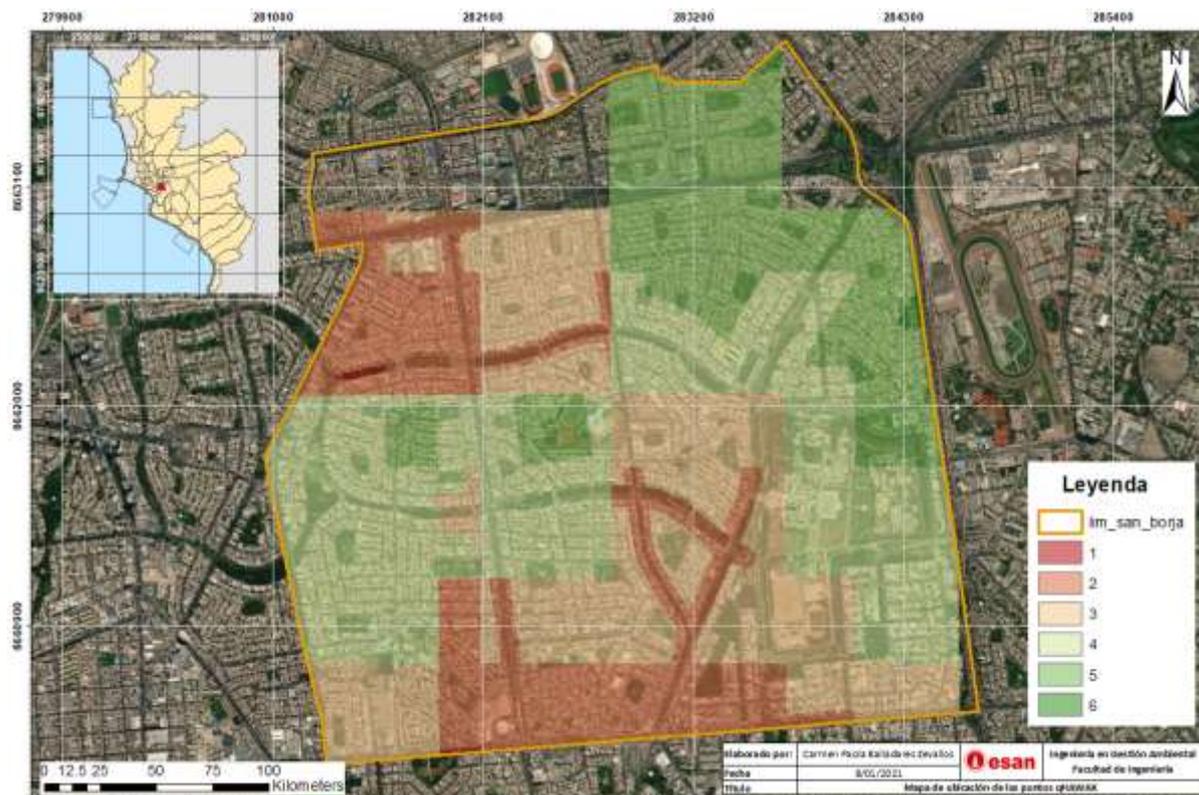


Figura 13 Mapa de aptitud de ubicación

Fuente: Elaboración propia mediante el software ArcMap

De dicha ponderación y empleo de herramientas del software ArcMap se obtuvo el mapa presentado, en el cual se han reclasificado los valores de cada criterio en seis categorías (de mayor a menor aptitud, 1 a 6), siendo así las zonas de color rojo y naranja (niveles 1 y 2) como las más aptas para poder ubicar muros de musgo a nivel distrital de San Borja y las zonas de color verde claro y oscuro (niveles 5 y 6) como las zonas con menor aptitud para la ubicación del proyecto en mención.

5.4. Discusión de resultados

Resultados de laboratorio

La capacidad de absorción de nitrógeno por la especie *Pleurozium quitense* se determinó con un promedio de 0.920% en el punto del Serenazgo de San Luis y de 0.942% en el punto de muestreo Vivero Kallpa Wasi. La diferencia entre ambos puntos se debe probablemente a que no se tenía ninguna barrera viva (árboles, arbustos) o artificial (garita del serenazgo) en un radio de 20 metros aproximadamente en el punto de Kallpa Wasi que influya directamente en la concentración de este contaminante, mientras que en el Punto del Serenazgo la distancia más próxima fue de 9.5 m a la garita y de 14 m a barreras vivas (cabe resaltar que ambos puntos cumplen con la distancia mínima establecida en el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad

Ambiental del aire, 2.5 veces la altura del obstáculo). Ello coincide con lo expuesto por Poikolainen et al. (2009) quienes indican que los factores locales como el microclima, vegetación, fuentes de emisión, composición de la deposición en el lugar de estudio afectan la concentración de nitrógeno en la especie de musgo de estudio (*H. splendens*).

Además, las fuentes de nutrición directa de los musgos, en general, incluyen precipitación o humedad, polvo (Glime, 2017), elementos traza y muy poco o nulo consumo de nutrientes del sustrato (Špirić et al., 2014) lo cual evidencia que el punto de Kallpa Wasi tenía mayor suministro para las muestras (considerando que esta investigación expuso la especie al ambiente y sin contacto alguno de suelo: principal suministrador de N en otras especies vasculares) por su cercanía próxima a la Avenida Evitamiento (valor promedio diario de NO₂ de 50.16 µg/m³) y ausencia de barreras vivas aledañas (radio de 20 metros).

Por otro lado, las concentraciones de nitrógeno determinadas en el laboratorio de forma semanal indican que a medida que transcurrió el periodo de investigación (frecuencia semanal) el nitrógeno total en la especie fue aumentando progresivamente. Sin embargo, no se ha determinado una relación significativa entre el dióxido de nitrógeno atmosférico y la concentración de N en las muestras de los puntos de muestreo ($\rho=-0.567$ y $\rho=-0.529$ respectivamente), cuyos valores obtenidos son menores al valor de relación de 0.95 esperado. Por lo tanto, en relación con la primera hipótesis planteada, esta se **RECHAZA** puesto que la relación entre el dióxido de nitrógeno atmosférico y el nitrógeno total de la especie *Pleurozium quitense* no fue mayor a 0.95 en el distrito de San Borja en los meses de setiembre y octubre.

Estos resultados coinciden con los resultados en la investigación de Kosonen et al. (2018), en cuyo estudio se concluye que la forma oxidada de nitrógeno NO₂ contribuye en menor proporción a la absorción de nitrógeno por los musgos ($r^2=0.08$). Del mismo modo, para el parámetro de nitrógeno los resultados obtenidos también concuerdan con la investigación de Kosonen et al. (2018) pues estos señalan que los factores que influyen en la desviación de la captación de absorción de N por el musgo están relacionado con la especie en análisis (empleó *Pleurozium schreberi* y *Hypnum cupressiforme* Hedw.), la distribución geográfica (lejanía y diferencia de condiciones del hábitat) y la dispersión de dicho contaminante en la zona de estudio, señalando que *Pleurozium schreberi* presentó tasas relativamente menores de absorción frente a *Hypnum cupressiforme*.

Por otra parte, los resultados encontrados se contrastan con lo expuesto por Špirić et al., (2014) en cuya investigación se mostraron concentraciones más altas de N en los periodos iniciales de la investigación del 2006 (concentración media de 1.71%, rango de 0.79% a 3.16%)

en comparación a los resultados del 2010 (concentración media de 1.54%, rango de 0.71% a 2.93%), concluyendo que los valores medianos de N en los musgos disminuyen no significativamente en periodos de 4 a 5 años (exceptuando de este análisis los resultados obtenidos en Macedonia). Por lo tanto, la variación de la concentración de N en los musgos sigue una tendencia fluctuante, pero con valores cercanos a la media.

Con respecto a la capacidad de absorción de material particulado captado por la especie *Pleurozium quitense* los resultados varían entre 0.39073 y 0.3958 mg/cm²/30d (promedio 0.3932 mg/cm²/30d), lo cual es significativamente menor a la capacidad de adsorción de la especie arbórea *Schinus terebinthifolius* (1.1808 mg/cm²/30d) y la especie rastrera *Aptenia cordifolia* (0.7065 mg/cm²/30d). Por lo tanto, en relación con la segunda hipótesis planteada, esta se RECHAZA, puesto que la capacidad de absorción de material particulado en la especie *Pleurozium quitense* es menor a la capacidad de la especie arbórea *Schinus terebinthifolius* y la especie rastrera *Aptenia cordifolia*. Estas diferencias se atribuyen principalmente a que *Pleurozium quitense*, al ser una especie que se desarrolla en zonas altoandinas (lugar de procedencia: Junín), aún no se ha adaptado a las condiciones meteorológicas y de calidad de aire de Lima. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Harmens et al. (2011) quienes indican que la especie de musgo que se emplea influye en los resultados de los análisis, la deposición húmeda y seca atmosférica y el clima local, lo que se relaciona directamente con una mayor o menor capacidad de absorción de los contaminantes atmosféricos.

Sin embargo, una ampliación del periodo de experimentación y mayores investigaciones podrían corroborar lo sustentado en los análisis de laboratorio de la Universidad de Bonn-Alemania, quienes demostraron una tasa neta de retención de 20 gramos de PM/m²/año (Splittgerber & Saenger, 2015) durante un lapso de investigación y análisis en laboratorio mayor y el empleo de distintas especies de musgo y bajo estrictos análisis de fisiología vegetal para su cultivo y distribución a diversos tipos de ambientes. Estos resultados se ajustan a los resultados obtenidos en las investigaciones de Di Palma et al. (2017) quienes indican una mayor eficiencia de captación principalmente de partículas finas (<2,5 mm) por los musgos (especie *Pseudoscleropodium purum*).

En relación con la hipótesis general, esta se RECHAZA, puesto que la capacidad de absorción de material particulado y nitrógeno en la especie *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja no fue mayor a 0.6705 mg/cm²/30d y a 1.54%, respectivamente, en los meses de setiembre y octubre. Del análisis de resultados precedentes se estimó que la capacidad de

absorción de material particulado y nitrógeno, bajo los indicadores de concentración de material particulado y nitrógeno total, varía entre 0.39073 y 0.3958 mg/cm²/30d para el primer indicador y valores que oscilan entre 0.92% y 0.94% para el segundo.

Resultados meteorológicos y de calidad de aire

Los resultados de calidad de aire indican que la concentración de PM_{2.5} en el área de estudio evidenció un valor medio de 19.349 µg/m³, para el PM₁₀ un valor medio de 49.39 µg/m³ y para NO₂ un valor medio de 50.16 µg/m³, los tres valores se encuentran por debajo de los valores establecidos en el ECA-2017 (presentando excedencias no mayores al 5% del conjunto de datos). Asimismo, los resultados meteorológicos de velocidad y dirección del viento indican que se presentaron vientos de tipo calma y brisa fresca (desde 0 m/s hasta 9.7 m/s) durante el periodo de evaluación lo que no representaría una significancia determinante para los resultados de la investigación. Ello coincide con lo expuesto por la EPA (s.f.) que afirma que los parámetros físicos (barreras naturales, artificiales u orográficas), radiación solar, factores meteorológicos y velocidad y dirección del viento afectan la dispersión de los contaminantes y su transporte en el lugar de muestreo o monitoreo.

Del mismo modo, para los parámetros de temperatura y humedad relativa se presentaron valores medios de 15.83 °C y 96.2%. Estos resultados difieren en cierto grado con los parámetros meteorológicos y de calidad de aire a los que está expuesto esta especie; es decir, Junín (lugar de procedencia de esta especie) presenta valores no superiores a 15°C, valores de PM_{2.5}, PM₁₀ y NO₂ inferiores a los determinados en la zona urbana de San Borja.

Por otro lado, las correlaciones obtenidas en la matriz presentada (Figura 12) se observa que el PM_{2.5}, PM₁₀ y NO₂ presentan una relación inversamente proporcional con el factor temperatura (r igual a -39%, -41% y -47%, respectivamente) y velocidad de viento (r igual a 43%, -53% y -50%, correspondientemente), mientras que con la humedad relativa presentan una relación directamente proporcional (r igual a 53%, 56% y 26%, respectivamente). Lo cual coincide con lo expuesto por Tovar, Gómez, & Zamorategui (2017) quienes indican que los parámetros de PM_{2.5} y PM₁₀ guardan una relación inversa con la temperatura puesto que este factor meteorológico tiene la capacidad de volatilizar ciertos contaminantes atmosféricos; asimismo, la humedad relativa guarda una relación directa con la concentración de los contaminantes por su efecto acidificar de los contaminantes debido a una atmósfera muy saturada o muy húmeda.

Resultados del mapa de aptitud

Para determinar la mejor ubicación de los muros de musgo en base a los criterios

establecidos, se corroboró a través de un mapa de aptitud, a pesar de que esta herramienta no se ha establecido en investigaciones previas relacionadas a la ubicación proyectos a fin a especies de musgo, este método es empleado en diversos proyectos (rellenos sanitarios, agrícolas, productivos) dado que se contempla un análisis multicriterio (colige diversos factores que inciden o influyen en el proyecto), ponderación de variables establecidas y la incorporación al Sistema de Información Geográfica (SIG) (León et al., 2018).

Finalmente, según el mapa de aptitud de ubicación elaborado se evidencia que las zonas óptimas para poder establecer muros de musgo son las zonas noreste y la zona central como un proyecto en el largo plazo con la consideración de los tres (03) criterios establecidos. Por lo tanto, en relación con la tercera hipótesis planteada, esta se ACEPTA, puesto que la ubicación óptima para la localización de muros verticales de *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja se establece en las avenidas principales y de mayor circulación, principalmente de las zonas noreste y la zona central.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se estimó que la capacidad de absorción de material particulado y nitrógeno, bajo los indicadores de concentración de material particulado y nitrógeno total, varía entre 0.39073 y 0.3958 mg/cm²/30d para el primer indicador y valores que oscilan entre 0.92% y 0.94% para el segundo, lo cual indicó un primer escenario no favorable en contraste con las hipótesis planteadas. A pesar de que estos resultados son menores a lo esperado probablemente como efecto de factores tales como la especie de análisis, distribución geográfica (lejanía y diferencia de condiciones del hábitat), dispersión de los contaminantes en la zona de estudio, deposición húmeda y seca atmosférica y el clima local. Sin embargo, a partir de la revisión bibliográfica realizada se demuestra que la morfología, fisiología y tipo de nutrición de los musgos y del género *Pleurozium* les confiere una capacidad más versátil y eficiente en remoción de contaminantes aéreos frente a otras especies vasculares, por lo cual estas son especies potencialmente capaces de ser empleadas como biorremediadoras de la calidad del aire en ecosistemas urbanos hiperáridos, como San Borja y Lima metropolitana.

Se estimó que la relación entre el dióxido de nitrógeno atmosférico y el nitrógeno total de la especie *Pleurozium quitense* no es significativa para el área de estudio ni el periodo de investigación. Ello se sustenta debido a que el escenario para el NO₂ no fue crítico (no se

registraron excedencias) durante el periodo de investigación, puesto que el año 2020 fue año atípico que limitó el flujo vehicular y peatonal, con ello la emisión de contaminantes y la disminución de la contaminación atmosférica.

Se determinó que la capacidad de absorción de material particulado en la especie *Pleurozium quitense* (0.3932 mg/cm²/30d) no es mayor a la capacidad de la especie arbórea *Schinus terebinthifolius* (1.1808 mg/cm²/30d) ni de la especie rastrera *Aptenia cordifolia* (0.7065 mg/cm²/30d). Esto se debe a que las dos (02) últimas especies en mención ya se distribuyen y se han adaptado a las condiciones meteorológicas de Lima, por lo cual ya se tiene un proceso de adaptación previo en comparación al musgo, lo cual les ha conferido una ventaja adicional en relación con su desarrollo y permanencia en dicho ecosistema.

Se determinó que la ubicación óptima para la localización de muros verticales de *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja es en la zona noroeste y central del distrito. Esto se fundamenta en las características de los mapas de aptitud: análisis multicriterio, ponderación de variables establecidas y la incorporación al Sistema de Información Geográfica (SIG). Al respecto, estos lugares son potenciales zonas para implementar muros de musgo con la finalidad de disminuir las concentraciones de contaminantes atmosféricos del distrito.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar más estudios sobre otras formas de cultivo de musgo en áreas urbanas del país. Asimismo, se recomienda considerar el proyecto de GreenCitySolutions que actualmente se están expandiendo por diversos países de Europa (Francia, Bélgica, Reino Unido y Alemania) en el cual se emplean los musgos para mejorar la calidad del aire (partículas finas), disminuir los niveles de ruido y mitigar el efecto de las islas de calor urbanas.

Finalmente, se recomienda emplear el método Dumas o Micro-Kjeldahl para la determinación de nitrógeno total en las especies vegetales, debido a que estos son menos contaminantes y nocivos durante su ejecución. Del mismo modo, se recomienda instalar un punto de monitoreo de calidad de aire cercano a los puntos de muestreo para garantizar con mayor precisión los resultados de la investigación.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Álvarez, J. (2009). *Tratamiento de emisiones a la atmósfera de acetato de etilo tolueno mediante biofiltros de turba*. (Universitat de Valencia). Recuperado de <http://roderic.uv.es/handle/10550/23246>
- Angulo Paz, C. (2018). *Capacidad de adsorción de material particulado de la especie arborea Ficus Benjamina en el parque zonal "Mayta Capac", San Martín de Porres* (Universidad Nacional Federico Villarreal). <https://doi.org/10.1590/s1809-98232013000400007>
- Aničić, M., Tasić, M., Frontasyeva, M. V., Tomašević, M., Rajšić, S., Strelkova, L. P., ... Steignes, E. (2009). Active biomonitoring with wet and dry moss: A case study in an urban area. *Environmental Chemistry Letters*, 7(1), 55–60. <https://doi.org/10.1007/s10311-008-0135-4>
- Aquafondo. (2015). Lima, mega ciudad en el desierto. *Aquafondo*, Vol. 1(3), 4. Recuperado de <http://www.aquafondo.org.pe/aprende.php>
- Ares, A., Aboal, J. R., Carballeira, A., Giordano, S., Adamo, P., & Fernández, J. A. (2012). Moss bag biomonitoring: A methodological review. *Science of the Total Environment*, 432, 143–158. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.087>
- Bizarro-Nevarés, P., Rojas-Lemus, M., González-Villalva, A., López-Valdez, N., Albarrán-Alonso, J. C., & Fortoul van der Goes, T. (2018). Estilo de vida, contaminación atmosférica y problemas que afectan la salud reproductiva en la mujer. *Revista de La Facultad de Medicina (México)*, 61(2), 7–15.
- Bozzo, C. (2015). Con Cantidad De Parques En Su Distrito. *El Comercio*, 5. Recuperado de http://www.actualidadambiental.pe/wp-content/uploads/2015/04/elcomercio_2015-04-01_p07.pdf
- Canales Rodríguez, M. A., Quintero Núñez, M., Castro Romero, T. G., & García Cuento, R. O. (2014). Las partículas respirables PM10 y su composición química en la zona Urbana y rural de Mexicali, Baja California en México. *Informacion Tecnologica*, 25(6), 13–22. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000600003>
- Caraballo, J. M. S. (2012). Physicochemical characteristics of gaseous and particulate air pollutants. Their impact on asthma. *Iatreia*, 25(4), 369–379. Recuperado de <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L365863560%5Cnhttp://www.iatreia.udea.edu.co/index.php/iatreia/article/view/1858/1161>
- Caraballo, J., & Sánchez, L. (2015). Repercusión de la contaminación del aire en la aparición de asma. *Revista Alergia México, Volumen 62*(2015;62:287-301), 1–12.
- Cardona Peña, V., Fuentes, A., & Cayola, L. (2005). Las moráceas de la región de Madidi, Bolivia. *Ecología En Bolivia: Revista Del Instituto de Ecología*, 40(3), 212–264.
- Chamorro, A. (2011). *"Análisis Fenotípico Y Fisiológico Del Musgo Bruym billarderi Schwägr en respuesta a glucosa y ácido abscísico"* (Instituto Politécnico Nacional). Recuperado de https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/16073/1/TesisAleCompleta_CIBA_IPN_TLAXCALA.pdf
- Chipoco, J., & Valencia, F. (2015). *Capacidad de adsorción de material particulado de la especie arborea Schinus terebinthifolius y una Rastrera Aptenia en el condominio La Quebrada-Cieneguilla*. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2192/T01-C541-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Choque, F. (2016). *PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE Sphagnum magellanicum Brid. Según*

- Frecuencias De Riego, Curimarca - Molinos - Jauja*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., & Eaton, A. D. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- Corleto, A., & Cortéz, D. (2012). *Comparación de los métodos de Bergerhoff y Placas Receptoras para la cuantificación de polvo atmosférico sedimentable*. 161.
- Cubas, P. (2008). *Briófitos (musgos, hepáticas y antoceros)*. 1–4. Recuperado de <http://www2.una.edu/pdavis/bryophytes.htm>
- Delao, N.; Evangelista, E. (2012). “*Capacidad de retención y cinética de pérdida de agua de Sphagnum magellanicum Brid. (musgo blanco) en la microcuenca del río San José de Yucán-distrito Pampa Hermosa- Satipo*”. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Di Palma, A., Capozzi, F., Spagnuolo, V., Giordano, S., & Adamo, P. (2017). Atmospheric particulate matter intercepted by moss-bags: Relations to moss trace element uptake and land use. *Chemosphere*, 176(February 2019), 361–368. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.120>
- DIGESA. (2005). *Protocolo de Calidad del Aire* (p. 71). p. 71. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf
- Escolar, C. (2014). *Efectos del cambio climático en la estructura y funcionamiento de ecosistemas semiáridos dominados por la costra biológica*. Universidad Rey Juan Carlos.
- Espinoza, B., Grijalva, K., Opisso, J., & Lazarinos, A. (2017). *Estudio preliminar de los musgos que se comercializan en Lima Metropolitana*. (August), 2–3. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23109.76008>
- Glime, J. (2017). *Nutrient Relations Bryophytes: Nitrogen*.
- Glime, J. M. (2017a). *Bryophyte Ecology*. *Michigan Tech*. Recuperado de <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology-toc/>
- Glime, J. M. (2017b). *Chapter 8-4 Nutrient Relations : Uptake And Location Chapter 8-4 Nutrient Relations : Uptake. 1*(November), 1–36.
- Gregorio, J., Lanza, P., Churión, C., & Gómez, N. (2016). *Kjeldahl Tradicional Y El Método Dumas Automatizado (N Cube) (N Cube) Para La*. 28.
- Grupo Qaira SAC. (2020). *Productos-qAIRa* (p. 24). p. 24. Recuperado de <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>
- Harmens, H., Norris, D. A., Cooper, D. M., Mills, G., Steinnes, E., Kubin, E., ... Zechmeister, H. G. (2011). Nitrogen concentrations in mosses indicate the spatial distribution of atmospheric nitrogen deposition in Europe. *Environmental Pollution*, 159(10), 2852–2860. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.04.041>
- Harmens, Harry, & Frontasyeva, M. (2019). *Heavy Metals, Nitrogen and POPs in European Mosses: 2020 Survey Monitoring Manual*. 27. Recuperado de <https://icpvegetation.ceh.ac.uk/get-involved/manuals/moss-survey>
- Hernandez, Roberto; Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativas, cualitativa y mixta* (McGraw-Hill Interamericana Editores S.A de C.V, Ed.). Ciudad de México.
- INEI. (2019). *Peru, anuario de estadísticas ambientales*. 1–607.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés.” (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos)*. 1–148.

- Instituto de Opinión Pública de la PUCP. (2018). Informe de percepción sobre calidad de vida. *Lima Cómo Vamos, IX*, 102. Recuperado de <http://www.limacomovamos.org/cm/wp-content/uploads/2018/12/EncuestaLimaComoVamos2018.pdf>
- Kosonen, Z., Thimonier, A., Schnyder, E., & Thöni, L. (2018). Nitrogen concentration in moss compared with N load in precipitation and with total N deposition in Switzerland. *Environmental Pollution, 239*(2), 169–178. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.063>
- León, J. M. ., Anaya, M. ., Oropeza, J. L. ., Ojeda, E. ., Rodríguez, D. A. ., & García, J. L. (2018). Aptitud territorial para establecer sistemas de captación del agua e lluvia para combatir incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 5*(21), 42–57.
- López Martínez, J. M., & Vega Flores, C. A. (2017). *Universidad Nacional Del Santa Facultad De Ingeniería Escuela Académica Profesional De Ingeniería Agroindustrial Tesis Para Optar El Título Profesional De Ingeniero "Optimización De Los Parámetros De Análisis Del Método.*
- Matus, P. (2017). Contaminación atmosférica: la composición química incide en su riesgo. *SCielo, 145*, 7–8. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0034-98872017000100001&script=sci_arttext
- Mendoza Merino, J. (2018). *Evaluación de la calidad de aire empleando líquenes como indicadores en la ciudad de Chachapoyas, Amazonas, 2017* (Universidad Nacional Toribio de Rodríguez de Mendoza de Chachapoyas). Recuperado de <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1366>
- MINAM, M. del ambiente. (2019). *Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire* (p. 102). p. 102. Recuperado de <https://sinia.Minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-protocolo-nacional-monitoreo-calidad>
- Ministerio del Ambiente. (2018). Indicadores Nacionales sobre suelo y territorio. Recuperado de <https://sinia.Minam.gob.pe/indicadores/listado/34>
- Montenegro, L. (2011). *Caracterización de algunos aspectos fisiológicos y bioquímicos del musgo Pleurozium schreberi relacionados con su capacidad de tolerancia a la deshidratación.* 178. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/7623/>
- Morales, C., Ospino, J., Jiménez, J., Berbén, A., & Negritto, M. (2017). *Briófitos: Un Mundo En Miniatura Autores Y Editores Contenido.* 12. Recuperado de http://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/FLORA/AIRNR_CN_7567_2007.pdf
- Opisso M., J. (2003). Briófito de Pomacahua. *Arnaldoa, 10*. Recuperado de <http://www.sacha.org/pubs/books/arnald.html#link21>
- Opisso M., J., & Churchill, S. P. (2008). Bryophytes from the environs of Yanachaga-Chemillén National Park, Department of Pasco, Peru. *Bryologist, 111*(2), 310–317. [https://doi.org/10.1639/0007-2745\(2008\)111\[310:BFTEOY\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1639/0007-2745(2008)111[310:BFTEOY]2.0.CO;2)
- Organización Mundial de la Salud. (2016). *La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud.* Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>
- Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias, 26*(1), 16–25. <https://doi.org/10.4067/s0717-73482010000100004>
- Pan, R. (2011). Determinación De Nitrógeno Por El Método Kjeldahl. *Sábado, 08 De Octubre a Las 14:17:02*, 3. Recuperado de https://www.itwreagents.com/uploads/20180122/A173_ES.pdf.
- Phocco Machaca, H. (2019). *Estimación de la capacidad de adsorción del material particulado del aire en dos especies ornamentales (Cytisus canariensis, Malva sylvestris) en la ciudad de Puno, 2018.*

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

- Poikolainen, J., Piispanen, J., Karhu, J., & Kubin, E. (2009). Long-term changes in nitrogen deposition in Finland (1990-2006) monitored using the moss *Hylocomium splendens*. *Environmental Pollution*, 157(11), 3091–3097. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.05.018>
- Querol, X. (2018). *Calidad Del Aire Reto Mundial*.
- Rodríguez, E. F. R., Licera, K. M., & Izquierdo, E. A. (2017). Catálogo de las briofitas de la región La Libertad, Perú (Vol. 24). <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.241.24110>
- Sánchez, R. & C. O. A. (2016). *Evaluación de la calidad del Aire en Lima Metropolitana*,. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01403SENA-7.pdf>
- Servicio de Parques de Lima. (2013). *Guía virtual de árboles en Lima*.
- Simijaca-Salcedo, D., Vargas-Rojas, D., & Morales-Puentes, M. E. (2014). Uso De Organismos Vegetales No Vasculares Como Indicadores De Contaminación Atmosférica Urbana (Tunja, Boyacá, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 19(2), 221–232. <https://doi.org/10.15446/abc.v19n2.40681>
- Sotelo, M., Sotelo, I., & Sotelo, J. (2017). *Planificación, gestión y protección de la calidad del aire en España*. 319–351.
- Špirić, Z., Stafilov, T., Vučković, I., & Glad, M. (2014). Study of nitrogen pollution in Croatia by moss biomonitoring and Kjeldahl method. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 49(12), 1402–1408. <https://doi.org/10.1080/10934529.2014.928532>
- Spittgerber, V., & Saenger, P. (2015). The CityTree: A vertical plant wall. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 198, 295–304. <https://doi.org/10.2495/AIR150251>
- Tian, Y., Jiang, Y., Liu, Q., Xu, D., Zhao, S., He, L., ... Xu, H. (2019). Temporal and spatial trends in air quality in Beijing. *Landscape and Urban Planning*, 185(October 2018), 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.01.006>
- Torres Castillo, R. F. (2016). *Reduccion Del Polvo Atmosférico Sedimentable A Través De Ficus Benjamina Y Salix Humboldtiana En El Distrito De San Martin De Porres*. Universidad Nacional Federico Villareal.
- Tovar, K., Gómez, Z., & Zamorategui, A. (2017). *Monitoreo de contaminantes atmosféricos (pm 2.5 , pm 10 y co 2) y variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) en la ciudad de Guanajuato*. 5(1), 347–352.
- US Environmental Protection Agency. (n.d.). Ambient Monitoring Technology Information Center. Recuperado de <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- WorldClim. (n.d.). WorldClim. Recuperado de <https://www.worldclim.org/>
- Zhang, Y. L., & Cao, F. (2015). Fine particulate matter (PM 2.5) in China at a city level. *Scientific Reports*, 5(2014), 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep14884>

ANEXO 1: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla 20

Ubicación de los puntos de muestreo

UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO				
Ubicación del lugar de monitoreo: Las estaciones de monitoreo se ubicaron dentro del distrito de San Borja, en los sectores 07 y 12.				
Punto	Distrito	UTM WGS84, Zona 18 S		Detalle
		Este	Norte	
K	SAN BORJA	286652.1	8660991.1	Kallpa Wasi (Avenida Evitamiento)
S		286555.5	8661137.6	Serenazgo San Luis (Intersección Av. San Borja Sur y Av. San Luis)

Mapa de ubicación de los puntos de muestreo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis	Operacionalización de las variables	
			VARIABLES DE ESTUDIO	INDICADORES
¿Cuál es la capacidad de absorción de material particulado y nitrógeno en la especie <i>Pleurozium quitense</i> en el distrito de San Borja en los meses de setiembre y octubre?	Estimar la capacidad de absorción de material particulado y nitrógeno en la especie <i>Pleurozium quitense</i> en el distrito de San Borja en los meses de setiembre y octubre.	La capacidad de absorción de los parámetros de material particulado y nitrógeno en la especie <i>Pleurozium quitense</i> en el distrito de San Borja, bajo los indicadores de concentración de material particulado y nitrógeno total, es mayor a 0.6705 mg/cm ² /30 d y a 1.54%, respectivamente, en los meses de setiembre y octubre.	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de absorción de nitrógeno • Capacidad de absorción de material particulado • Variables meteorológicas (Temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección media diaria) 	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de nitrógeno total (% de nitrógeno) • Concentración de material particulado (mg/cm²/30d) • Meteorogramas y rosa de vientos

Problemas específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	VARIABLES DE ESTUDIO	INDICADORES
• ¿Cuál es la relación entre el dióxido de nitrógeno atmosférico y el nitrógeno total en la especie <i>Pleurozium quitense</i> en el distrito de San Borja en los meses de setiembre	• Estimar la relación entre el dióxido de nitrógeno atmosférico y el nitrógeno total en la especie <i>Pleurozium quitense</i> en el distrito de San Borja en los meses de setiembre y octubre.	• La relación entre el dióxido de nitrógeno atmosférico y el nitrógeno total de la especie <i>Pleurozium quitense</i> es mayor a 0.95 en el distrito de San Borja en los meses de	• Dióxido de nitrógeno NO ₂ (µg/ m ³)	• Concentración media diaria (µg/ m ³)

<p>y octubre?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Es mayor la capacidad de absorción de material particulado en la especie <i>Pleurozium quitense</i> frente a la especie arbórea <i>Schinus terebinthifolius</i> y la rastrera <i>Aptenia cordifolia</i>? • ¿Cuál es la ubicación óptima para la localización de muros verticales de la especie <i>Pleurozium quitense</i> en el distrito de San Borja? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar qué especie tiene mayor capacidad de absorción de material particulado entre la briófita <i>Pleurozium quitense</i>, la arbórea <i>Schinus terebinthifolius</i> y la rastrera <i>Aptenia cordifolia</i>. • Determinar la ubicación óptima para la localización de muros verticales de <i>Pleurozium quitense</i> en el distrito de San Borja. 	<p>setiembre y octubre.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La capacidad de absorción de material particulado en la especie <i>Pleurozium quitense</i> es mayor a la capacidad de la especie arbórea <i>Schinus terebinthifolius</i> y la especie rastrera <i>Aptenia cordifolia</i>. • La ubicación óptima para la localización de muros verticales de <i>Pleurozium quitense</i> en el distrito de San Borja se establece en las avenidas principales y de mayor circulación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de adsorción de material particulado de la especie arbórea <i>Schinus terebinthifolius</i> y rastrera <i>Aptenia cordifolia</i>. • Material particulado P.M_{2.5} y P.M₁₀ <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Localización de muros verticales de musgo 	<ul style="list-style-type: none"> • mg/cm²/30d de material • Concentración media diaria (µg/ m³) • Matriz de Saaty
--	---	--	---	--

Tabla 22
Pruebas de normalidad

Variables en estudio			Pruebas de normalidad		
			Kolmogorov Smirnov: >50 datos Shapiro Wilk: <50 datos		
Toma de decisión					
Variable	n	p-valor	Resultados SPSS		
			<p>$\rho > \alpha$: proviene de una distribución normal $\rho < \alpha$: no proviene de una distribución normal</p>		
NKallpa	5	0.058	<p>La concentración de nitrógeno ($p=0.058$) en las muestras ubicadas en el punto Kallpa <u>sigue</u> una distribución normal.</p>		
NSerenazgo	5	0.301	<p>La concentración de nitrógeno ($p=0.301$) en las muestras ubicadas en el punto Serenazgo <u>sigue</u> una distribución normal.</p>		
NO ₂	5	0.995	<p>La concentración de dióxidos de nitrógeno ($p=0.995$) en la estación q-H008 <u>sigue</u> una distribución normal.</p>		

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
NKallpa	,319	5	,105	,782	5	,058
NSerenazgo	,288	5	,200 ^a	,878	5	,301

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
NO2	,152	5	,200 ^a	,996	5	,995

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de la significación de Lilliefors

Tabla 23
Pruebas estadísticas paramétricas

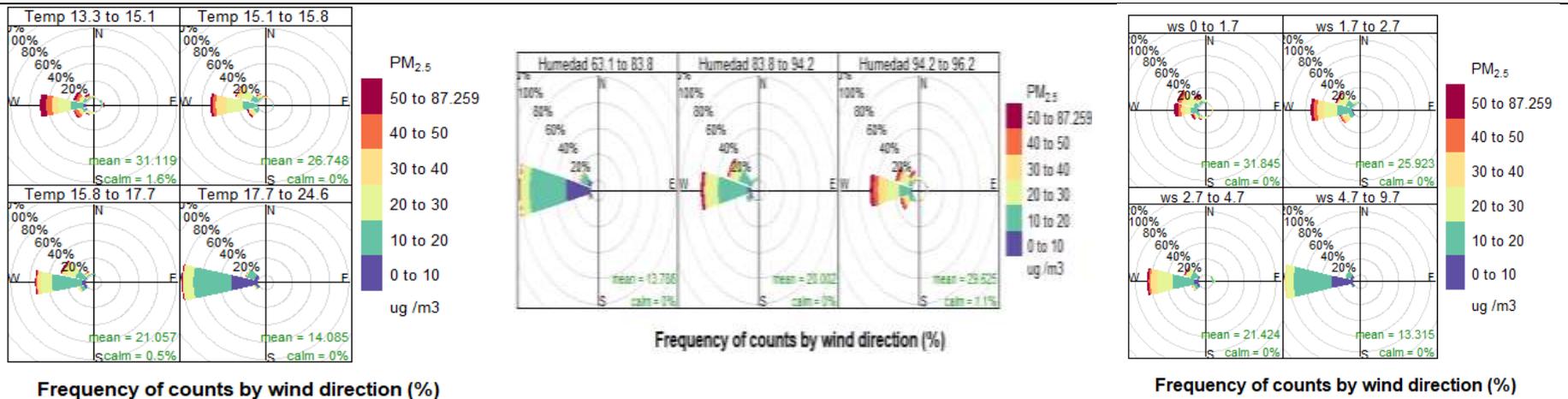
Variables en estudio		Pruebas estadísticas																										
		Pruebas paramétricas: Pearson																										
Variable	n	p-valor	Toma de decisión	Resultados SPSS																								
			$\rho > \alpha$: no existen relación entre las variables $\rho < \alpha$: existen relación entre las variables																									
NO ₂ / NKallpa	5	-.567	El dióxido de nitrógeno atmosférico y el nitrógeno total en <i>Pleurozium quitense</i> presentan una <u>relación inversa no significativa</u> en el punto de muestreo de Kallpa Wasi.	<p style="text-align: center;">Correlaciones</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>Dióxido de nitrógeno (ug/m3)</th> <th>Punto de muestreo Kallpa Wasi</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Dióxido de nitrógeno (ug/m3)</td> <td>Correlación de Pearson</td> <td>1</td> <td>-.567</td> </tr> <tr> <td>Sig. (bilateral)</td> <td></td> <td>,319</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Punto de muestreo Kallpa Wasi</td> <td>Correlación de Pearson</td> <td>-.567</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Sig. (bilateral)</td> <td>,319</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>			Dióxido de nitrógeno (ug/m3)	Punto de muestreo Kallpa Wasi	Dióxido de nitrógeno (ug/m3)	Correlación de Pearson	1	-.567	Sig. (bilateral)		,319	N	5	5	Punto de muestreo Kallpa Wasi	Correlación de Pearson	-.567	1	Sig. (bilateral)	,319		N	5	5
		Dióxido de nitrógeno (ug/m3)	Punto de muestreo Kallpa Wasi																									
Dióxido de nitrógeno (ug/m3)	Correlación de Pearson	1	-.567																									
	Sig. (bilateral)		,319																									
	N	5	5																									
Punto de muestreo Kallpa Wasi	Correlación de Pearson	-.567	1																									
	Sig. (bilateral)	,319																										
	N	5	5																									
NO ₂ / NSerenazgo	5	-.529	El dióxido de nitrógeno atmosférico y el nitrógeno total en <i>Pleurozium quitense</i> presentan una <u>relación inversa no significativa</u> en el punto de muestreo de Serenazgo.	<p style="text-align: center;">Correlaciones</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>Dióxido de nitrógeno (ug/m3)</th> <th>Punto de muestreo Serenazgo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Dióxido de nitrógeno (ug/m3)</td> <td>Correlación de Pearson</td> <td>1</td> <td>-.529</td> </tr> <tr> <td>Sig. (bilateral)</td> <td></td> <td>,359</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Punto de muestreo Serenazgo</td> <td>Correlación de Pearson</td> <td>-.529</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Sig. (bilateral)</td> <td>,359</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>			Dióxido de nitrógeno (ug/m3)	Punto de muestreo Serenazgo	Dióxido de nitrógeno (ug/m3)	Correlación de Pearson	1	-.529	Sig. (bilateral)		,359	N	5	5	Punto de muestreo Serenazgo	Correlación de Pearson	-.529	1	Sig. (bilateral)	,359		N	5	5
		Dióxido de nitrógeno (ug/m3)	Punto de muestreo Serenazgo																									
Dióxido de nitrógeno (ug/m3)	Correlación de Pearson	1	-.529																									
	Sig. (bilateral)		,359																									
	N	5	5																									
Punto de muestreo Serenazgo	Correlación de Pearson	-.529	1																									
	Sig. (bilateral)	,359																										
	N	5	5																									

Fuente: Elaboración propia

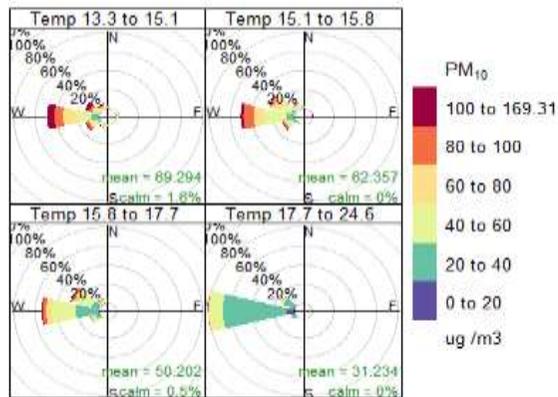
Tabla 24
Rosa de contaminantes

Data de calidad de aire para el periodo de investigación

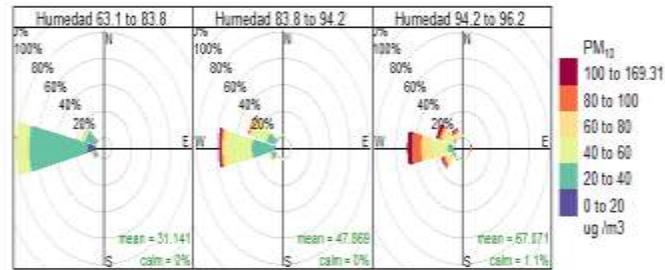
Material particulado diámetro 2.5 µg (PM_{2.5})



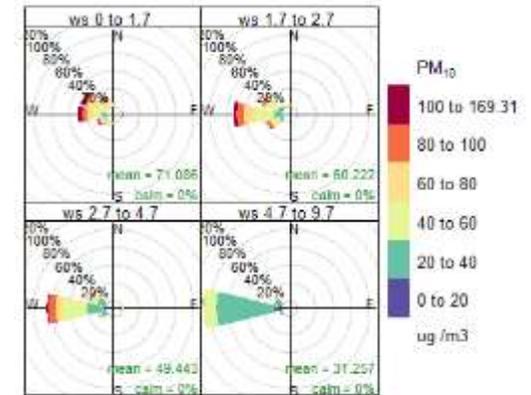
Material particulado diámetro 10 µg (PM₁₀)



Frequency of counts by wind direction (%)

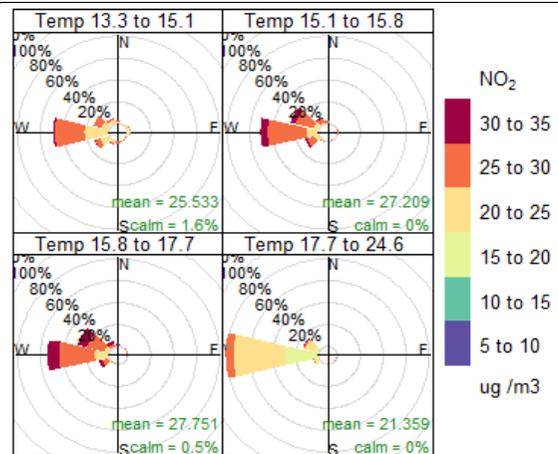


Frequency of counts by wind direction (%)

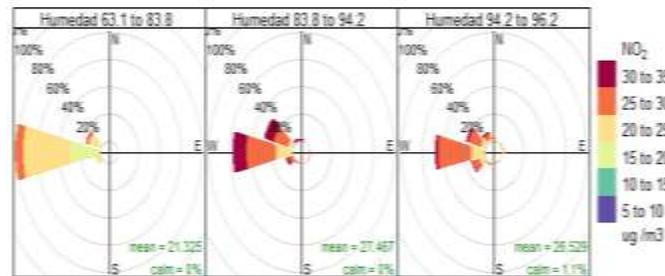


Frequency of counts by wind direction (%)

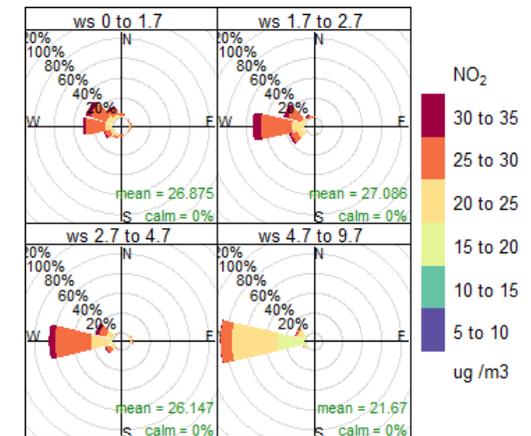
Dióxido de nitrógeno (NO₂)



Frequency of counts by wind direction (%)



Frequency of counts by wind direction (%)



Frequency of counts by wind direction (%)

Tabla 25
Interpolación de NO_2

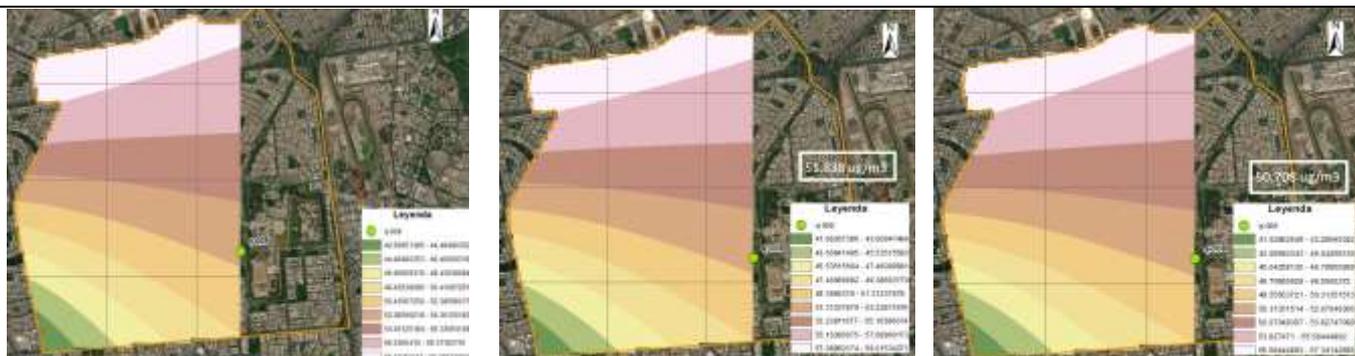
Data de calidad de aire para el periodo de investigación

Dióxido de nitrógeno (NO_2)

07/09/2020

08/09/2020

09/09/2020



... Se completó la data hasta el 07/10/2020 (este proceso también puede ser aplicado con RStudio) ...

18/09/2020

27/09/2020

07/10/2020



Fuente: Elaboración propia



Figura 14 Ubicación de los puntos de monitoreo qHawax
Fuente: Elaboración propia mediante el software ArcMap

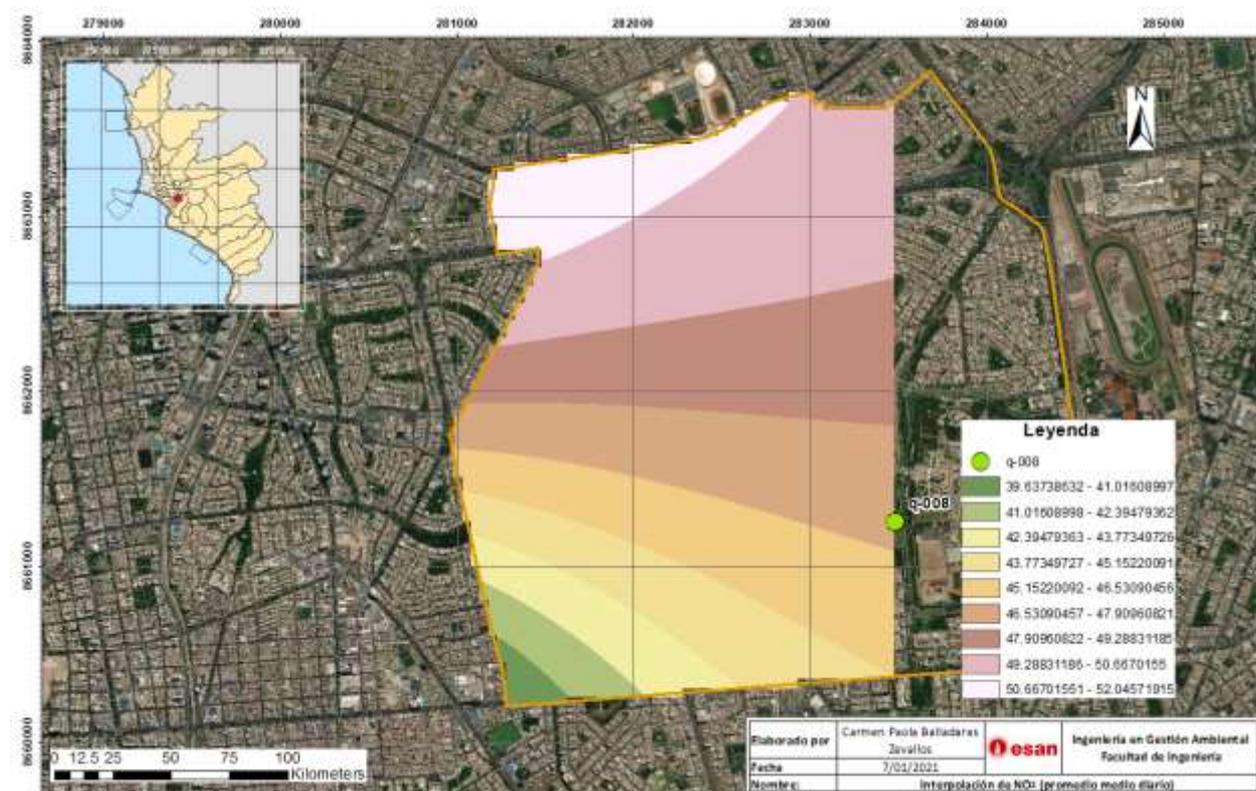


Figura 15 Interpolación de NO₂ en el distrito de San Borja
Fuente: Elaboración propia mediante el software ArcMap

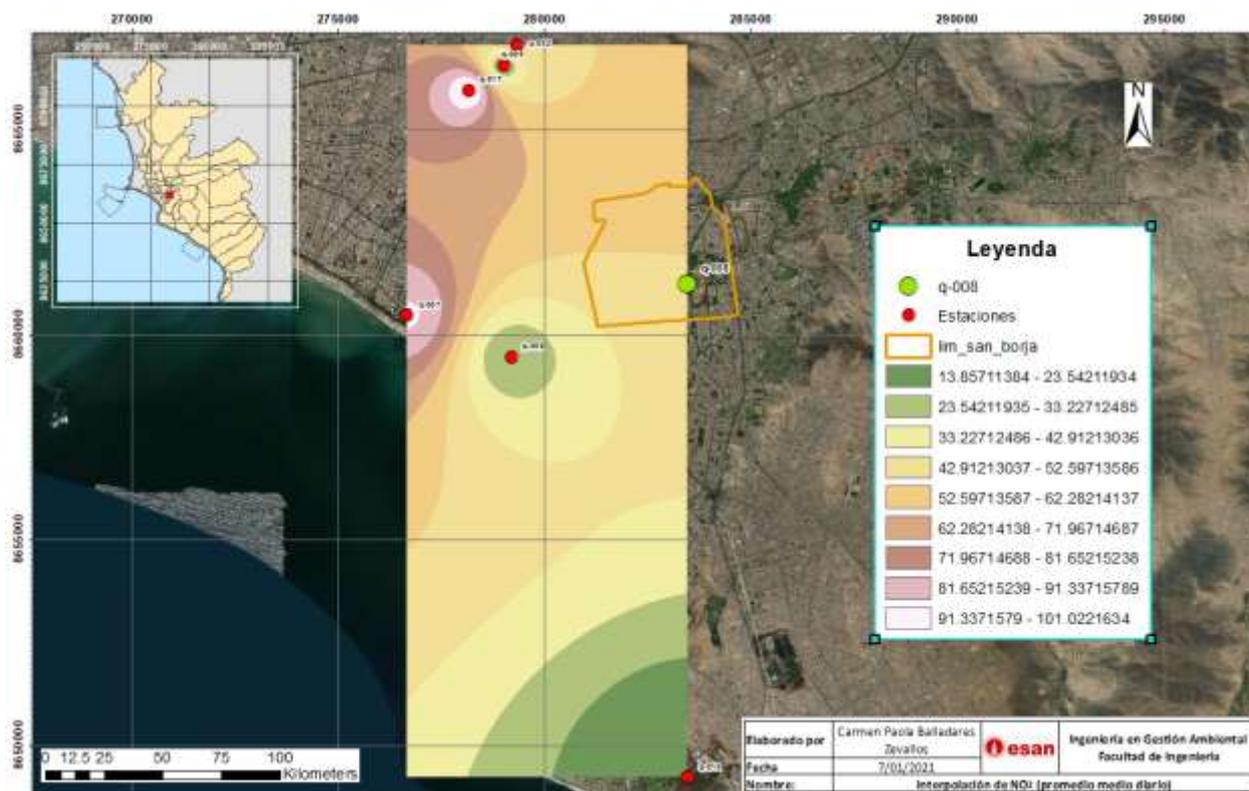


Figura 16 Interpolación de NO₂ de las estaciones qHawax
Fuente: Elaboración propia mediante el software ArcMap

Tabla 26
Validación de la matriz de Saaty, experto 1

Matriz de Saaty						
Criterios seleccionados	Radiación Solar	Presión de vapor de agua	Cercanía a vías públicas	Wi	Ci	Lambda
Radiación Solar	1.000	2.000	4.000	2.000	0.547	0.957
Presión de vapor de agua	0.500	1.000	4.000	1.260	0.345	1.120
Cercanía a vías públicas	0.250	0.250	1.000	0.397	0.109	0.977
Suma	1.750	3.250	9.000	3.657	1.000	3.054
N° datos	3.000					
			PESOS			
V1	Radiación Solar		0.547			
V2	Presión de vapor de agua		0.345			
V3	Cercanía a vías públicas		0.109			
			1.000			
Ci	0.027					
Rci	0.660					
CR	0.041					
	Consistente					

Fuente: Elaboración propia bajo ponderación de Dra. Mayra Arauco

Tabla 27
Validación de la matriz de Saaty, experto 2

Matriz de Saaty						
Criterios seleccionados	Radiación Solar	Presión de vapor de agua	Cercanía a vías públicas	Wi	Ci	Lambda
Radiación Solar	1.000	0.250	4.000	1.000	0.236	1.241
Presión de vapor de agua	4.000	1.000	6.000	2.884	0.682	0.966
Cercanía a vías públicas	0.250	0.167	1.000	0.347	0.082	0.901
Suma	5.250	1.417	11.000	4.231	1.000	3.108
N° datos	3.000					
			PESOS			
V1	Radiación Solar		0.236			
V2	Presión de vapor de agua		0.682			
V3	Cercanía a vías públicas		0.082			
			1.000			
Ci	0.054					
Rci	0.660					
CR	0.082	Consistente				

Fuente: Elaboración propia bajo ponderación de Mg. Juan Jesús Torres Guevara

Tabla 28
Validación de la matriz de Saaty, 3

Matriz de Saaty						
Criterios seleccionados	Radiación Solar	Presión de vapor de agua	Cercanía a vías públicas	Wi	Ci	Lambda
Radiación Solar	1.000	2.000	6.000	2.289	0.567	0.946
Presión de vapor de agua	0.500	1.000	6.000	1.442	0.357	1.132
Cercanía a vías públicas	0.167	0.167	1.000	0.303	0.075	0.976
Suma	1.667	3.167	13.000	4.035	1.000	3.054
N° datos	3.000					
			PESOS			
V1	Radiación Solar		0.567			
V2	Presión de vapor de agua		0.357			
V3	Cercanía a vías públicas		0.075			
			1.000			
Ci	0.027					
Rci	0.660					
CR	0.041	Consistente				

Fuente: Elaboración propia bajo criterio de revisión bibliográfica

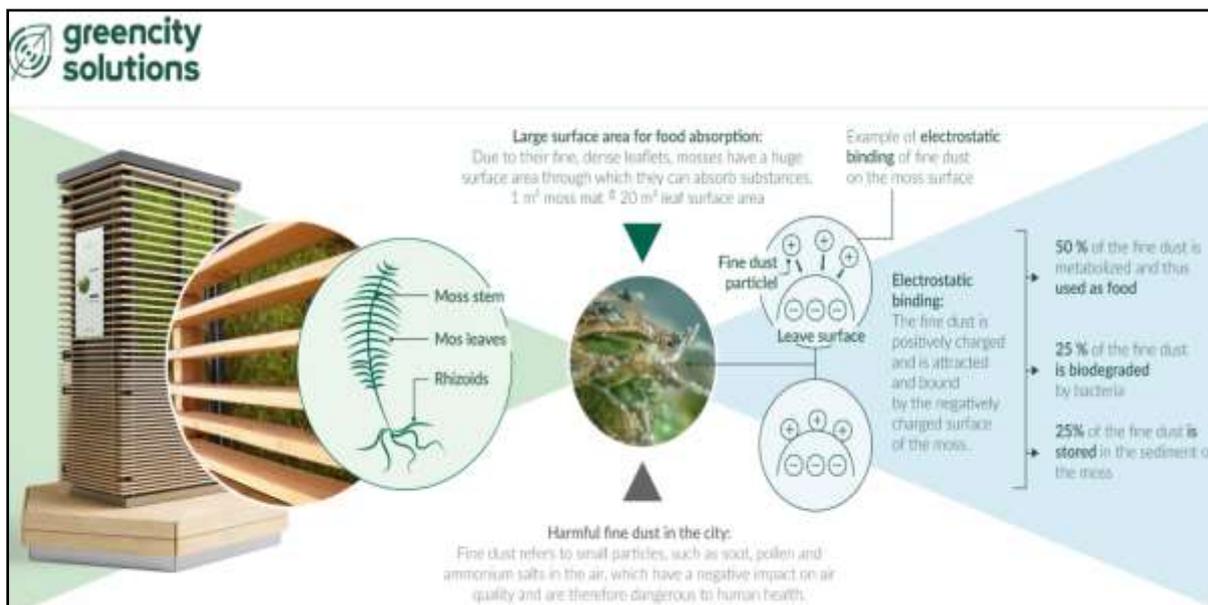


Figura 17 Descripción del proyecto CityTree de GreenCitySolutions

Fuente: Green City Solutions (Proyecto CityTree). Recuperado de <https://GreenCitySolutions.de/en/solution>

ANEXO 2: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla 29

Registro fotográfico del desarrollo de investigación

Elección de la especie de interés



Por los criterios indicados en el Capítulo IV. Desarrollo del experimento, se expusieron ambas placas al ambiente por un periodo de 3 meses, después del cual se determinó cuál fue la especie más resiliente en términos de permanencia de pigmentación.

Preparación de las muestras



Día 1: Instalación de la estructura



Semana 1: Recojo de las muestras



Semana 2: Recojo de las muestras

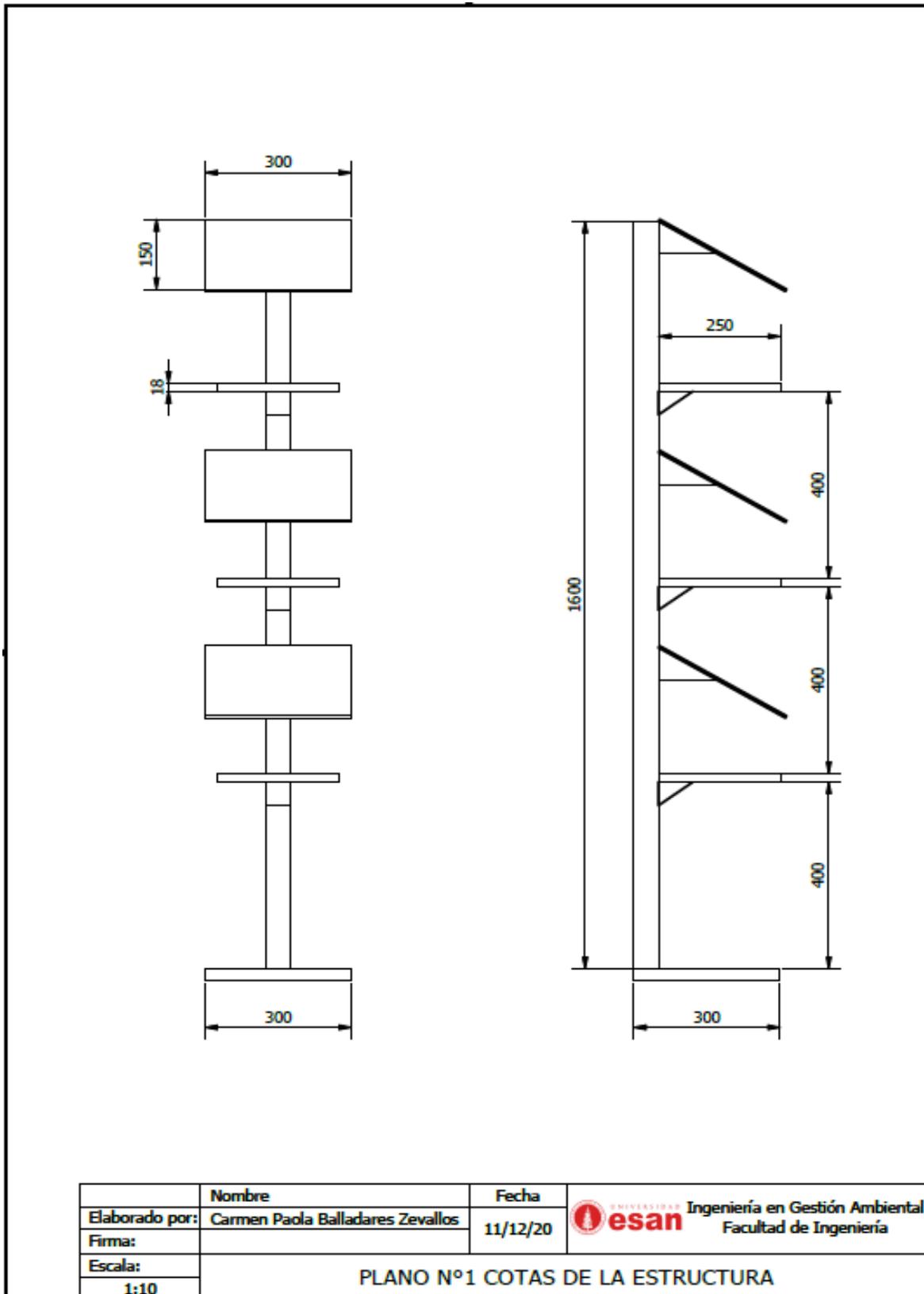


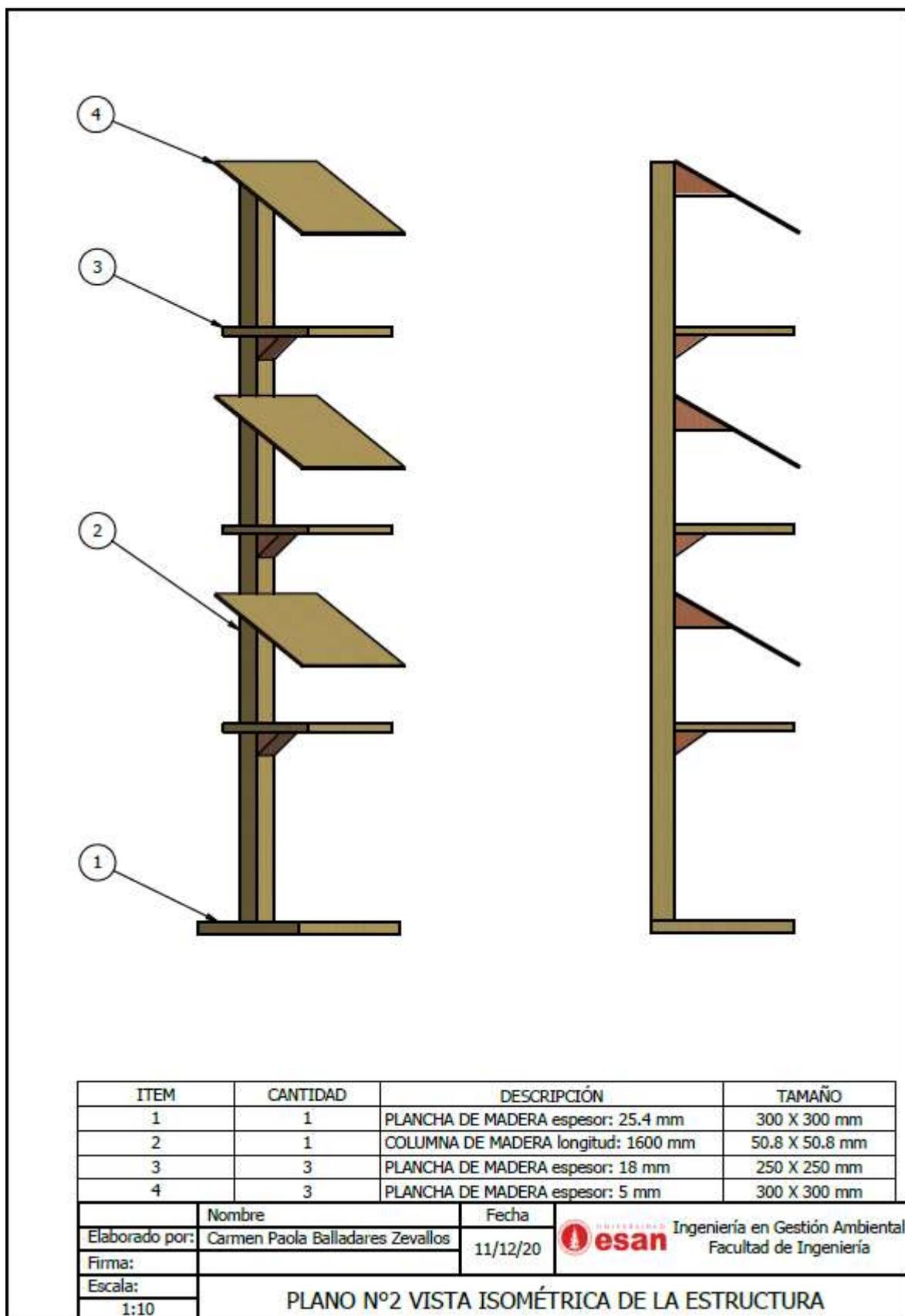
Semana 3: Recojo de las muestras



ANEXO 3: PLANOS, RESULTADOS DE LABORATORIO Y OPINIÓN DE EXPERTOS

Planos de la estructura





Resultados de la determinación de la especie

 	UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO MUSEO DE HISTORIA NATURAL	
---	--	---

"Año de la Universalización de la Salud"

CONSTANCIA N° 048-USM-2020

LA JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (muestra completa), recibida de **Carmen Balladares Zevallos**; estudiante de la Universidad ESAN (Escuela de Administración y Negocios); ha sido estudiada y clasificada como: ***Pleurozium quitense*** (Mitt.) B.H. Allen & Magill.; y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Goffinet, B., W.R. Buck and A.J. Shaw (2008), Morphology and classification of the Bryophyta, in Goffinet & Shaw (eds.) Bryophyte Biology 2nd edition, p. 55–138, Cambridge University Press.

DIVISIÓN: Bryophyta

CLASE: Bryopsida

ORDEN: Hypnales

FAMILIA: Hylocomiaceae

GÉNERO: *Pleurozium*

ESPECIE: *Pleurozium quitense* (Mitt.) B.H. Allen & Magill.

Determinado por: Blga. Jasmín Opiiso Mejía

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Lima, 17 de febrero de 2020


Dra. Joaquina Albán Castillo
JEFE JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

JAC/ddb

Resultados de laboratorio de sólidos totales

 **Alex Stewart
(International) del Perú S.R.L.**

INFORME DE ENSAYO
N° 747/LOM-20

Pág. 1 de 1

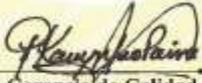
Cliente : CARMEN PAOLA BALLADARES ZEVALLOS
Dirección : Jr. Pomalca N° 673 – Santiago de Surco – Lima
Producto : MUSGO
Identificación de la muestra : 6 IS – 07/10/2020
Cantidad de muestra : 01 Muestra de 30g. Aprox.
Envase : Bolsa plástica ziploc
Fecha de recepción : 08-10-2020
Inicio de análisis : 09-10-2020
Término de análisis : 12-10-2020
Nuestra referencia : Orden de Análisis N° 825 / Cotización N° 13452
Referencia del cliente : E-mail del 08-10-2020

RESULTADOS:

ASA - O - 4866		
ANÁLISIS FISIQUÍMICO	Unidad	Resultados
Sólidos totales	mg/L	86.26

MÉTODOS:
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

Lima, 12 de Octubre del 2020


Gerencia de Calidad
Lic. Karyn Loo Paiva
CQP. N° 651

J.P.V.

Los resultados emitidos en este informe corresponden únicamente a la cantidad de muestra recibida y ensayada en el laboratorio, no deben ser utilizados como certificación de conformidad con las normas de producto o sistema de calidad.
ADVERTENCIA: La alteración parcial o total de este documento es penalizado por ley. Cualquier corrección sólo podrá ser realizada por Alex Stewart (International) del Perú S.R.L. reemplazándolo por uno nuevo.

ASA-P-T-09 Form.15.-Rev.07-Jul.19

ESTE DOCUMENTO HA SIDO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS Y PRUEBAS EFECTUADOS EN NUESTRO LABORATORIO CON LA MAYOR HABILIDAD, CONDICIONES Y BUENA FE. LA RESPONSABILIDAD DE ALEX STEWART (INTERNATIONAL) DEL PERÚ S.R.L. AL EMITIR EL PRESENTE DOCUMENTO ESTA LIMITADA A LAS CONDICIONES DE PRESTACIÓN DE NUESTROS SERVICIOS ACEPTADAS POR EL CLIENTE. EL PRESENTE DOCUMENTO NO EXIME A LAS PARTES CONTRATANTES DE SUS OBLIGACIONES NI LIMITA EL EJERCICIO DE SUS DERECHOS

Calle Los Negocios 420, Surquillo - Lima 34, Perú ☎ 051-1 652-4650 Fax: 221-1278
E-mail: asogerencia@alexstewart.com.pe www.alexstewart.com.pe

 **Alex Stewart
(International) del Perú S.R.L.**

INFORME DE ENSAYO
N° 748/LOM-20

Pág. 1 de 1

Cliente : CARMEN PAOLA BALLADARES ZEVALLOS
Dirección : Jr. Pomalca N° 673 – Santiago de Surco – Lima
Producto : MUSGO
Identificación de la muestra : 3 IK – 07/10/2020
Cantidad de muestra : 01 Muestra de 30g. Aprox.
Envase : Bolsa plástica ziploc
Fecha de recepción : 08-10-2020
Inicio de análisis : 09-10-2020
Término de análisis : 12-10-2020
Nuestra referencia : Orden de Análisis N° 825 / Cotización N° 13452
Referencia del cliente : E-mail del 08-10-2020

RESULTADOS:

ASA – O - 4867		
ANÁLISIS FISCOQUÍMICO	Unidad	Resultados
Sólidos totales	mg/L	87.42

MÉTODOS:
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

Lima, 12 de Octubre del 2020


Gerencia de Calidad
Lic. Karyn Loo Paiva
CQP. N° 651

I.P.Y.
Los resultados emitidos en este informe corresponden únicamente a la cantidad de muestra recibida y ensayada en el laboratorio, no deben ser utilizados como certificación de conformidad con las normas de producto o sistema de calidad.
ADVERTENCIA: La alteración parcial o total de este documento es penalizado por ley. Cualquier corrección sólo podrá ser realizada por Alex Stewart (International) del Perú S.R.L reemplazándolo por uno nuevo.

ASA-P-T-09 Form.15.-Rev.07-Jul.19
ESTE DOCUMENTO HA SIDO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS Y PRUEBAS EFECTUADAS EN NUESTRO LABORATORIO CON LA MAYOR HABILIDAD, CONOCIMIENTOS Y BUENA FE. LA RESPONSABILIDAD DE ALEX STEWART (INTERNATIONAL) DEL PERÚ S.R.L. AL EMITIR EL PRESENTE DOCUMENTO ESTA LIMITADA A LAS CONDICIONES DE PRESTACIÓN DE NUESTROS SERVICIOS ACEPTADAS POR EL CUENTE. EL PRESENTE DOCUMENTO NO EXIME A LAS PARTES CONTRATANTES DE SUS OBLIGACIONES NI LIMITA EL EJERCICIO DE SUS DERECHOS.

Calle Los Negocios 420, Surquillo - Lima 34, Perú ☎ 061-1 652-4660 Fax: 221-1278
E-mail: asigerencia@alexstewart.com.pe - www.alexstewart.com.pe

Resultados de laboratorio de nitrógeno

FSC CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1340-2020 NALAB/FSC

Nombre del Cliente : DALLABAREZ CESAR LUIS CARMEN FACUA
 Dirección del Cliente : Jirón Pomaica 673 - Santiago de Surco - Lima - Lima
 N° Orden de Servicio : 1340-2020/LAB/FSC
 Procedencia de la Muestra : Muestra proporcionada por el cliente
 Fecha de Muestreo : No Aplica
 Fecha de Recepción : 16/09/2020
 Fecha de Análisis : 16/09/2020
 Lugar de Muestreo : No Aplica
 Muestra / Descripción : MB1 Mudge (*Pleurozium* sp.) - 15 Bolsas de polietileno que contienen 40g / PE: 18/05/20 / Punto de muestreo: BK
 Temperatura de Recepción : Ambiente

RESULTADOS DE ENSAYO

Ensayo	Unidades	Val.	Rango
NITROGENO TOTAL	%	1	0.95

MÉTODOS DE ENSAYO

Ensayo	Título o Referencia
NITROGENO TOTAL	CONVENIO 1186 - 1980 ANEXO B. DETERMINACIÓN DE NITROGENO, AMONIO Y NITRATO

Los resultados de los ensayos efectuados sobre las muestras analizadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de gestión de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.C.

FSC F-LAS-011/M/02 Pág. 1 de 2

J. Herrera N° 211 Of. 201-202, Urb. Chacarilla del Estero, Santiago de Surco, Lima - Perú.
 Teléfono: (51) 0 981 0961 - Anexo: 101 (1)
www.fscperu.com

FSC CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1340-2020 NALAB/FSC

Lima, 17 de Setiembre del 2020

Andreas

ANDREA INCHAUSTEQUI BRITO
 Jefe de Laboratorio de Química y Saneamiento

Los resultados de los ensayos efectuados sobre las muestras analizadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de gestión de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.C.

FSC F-LAS-011/M/02 Pág. 2 de 2

J. Herrera N° 211 Of. 201-202, Urb. Chacarilla del Estero, Santiago de Surco, Lima - Perú.
 Teléfono: (51) 0 981 0961 - Anexo: 101 (1)
www.fscperu.com

FSC CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1381-2020 NALAB/FSC

Nombre del Cliente : DALLABAREZ CESAR LUIS CARMEN FACUA
 Dirección del Cliente : Jirón Pomaica 673 - Santiago de Surco - Lima - Lima
 N° Orden de Servicio : 1438-2020/LAB/FSC
 Procedencia de la Muestra : Muestra proporcionada por el cliente
 Fecha de Muestreo : No Aplica
 Fecha de Recepción : 16/09/2020
 Fecha de Análisis : 16/09/2020
 Lugar de Muestreo : No Aplica
 Muestra / Descripción : MB1 Mudge (*Pleurozium* sp.) - 15 Bolsas de polietileno que contienen 40g / PE: 18/05/20 / Punto de muestreo: BK
 Temperatura de Recepción : Ambiente

RESULTADOS DE ENSAYO

Ensayo	Unidades	Val.	Rango
NITROGENO TOTAL	%	1	0.95

MÉTODOS DE ENSAYO

Ensayo	Título o Referencia
NITROGENO TOTAL	CONVENIO 1186 - 1980 ANEXO B. DETERMINACIÓN DE NITROGENO, AMONIO Y NITRATO

Los resultados de los ensayos efectuados sobre las muestras analizadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de gestión de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.C.

FSC F-LAS-011/M/02 Pág. 1 de 2

J. Herrera N° 211 Of. 201-202, Urb. Chacarilla del Estero, Santiago de Surco, Lima - Perú.
 Teléfono: (51) 0 981 0961 - Anexo: 101 (1)
www.fscperu.com

FSC CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1381-2020 NALAB/FSC

Lima, 22 de Setiembre del 2020

Andreas

ANDREA INCHAUSTEQUI BRITO
 Jefe de Laboratorio de Química y Saneamiento

Los resultados de los ensayos efectuados sobre las muestras analizadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de gestión de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.C.

FSC F-LAS-011/M/02 Pág. 2 de 2

J. Herrera N° 211 Of. 201-202, Urb. Chacarilla del Estero, Santiago de Surco, Lima - Perú.
 Teléfono: (51) 0 981 0961 - Anexo: 101 (1)
www.fscperu.com

FSC
CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1382-2020 NA/LAB/FSC

Nombre del Cliente : BALLEADARES ZEVALLOS CARMEN PADLA
 Dirección del Cliente : Jirón Pimentel 673 / Santiago de Surco - Lima - Lima
 N° Orden de Servicio : 1408-2020/LAB/FSC
 Procedencia de la Muestra : Muestra proporcionada por el cliente
 Fecha de Muestreo : No Aplica
 Fecha de Recepción : 10/09/2020
 Fecha de Análisis : 06/09/2020
 Lugar de Muestreo : No Aplica
 Muestra / Descripción : M04 Mueja (pleurozium s.) / 31 Bolsa de polietileno que contiene 4kg / FE: 16/09/20 / Punto de muestreo: 50%

Temperatura de Recepción : Ambiente

RESULTADOS DE ENSAYO

Ensayo	Unidades	Pa	Resultado
NITRÓGENO TOTAL	%	T	0.96

MÉTODOS DE ENSAYO

Ensayo	Norma y Referencia
NITRÓGENO TOTAL	ISO 15924 1905-1980 Almidón. Determinación de nitrógeno Método Kjeldahl

Los resultados de los ensayos contrastan con los de las muestras analizadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de gestión de la entidad que le precede. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.C.

FSC F-LAB-011/V-02 Pág. 1 de 2

J. Hernandez N° 221 07 251 252 Urb. Chocallita del Estero N. Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51) 0 907 0961 - Anexo Lab: 111
 www.fsc-certificaciones.com

FSC
CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1382-2020 NA/LAB/FSC

Lima, 22 de Setiembre del 2020.

Andrés...

MICHA HUALDEGUA IBRITO
 Jefe de Laboratorio de Química y Saneamiento

Los resultados de los ensayos contrastan con los de las muestras analizadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de gestión de la entidad que le precede. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.C.

FSC F-LAB-011/V-02 Pág. 2 de 2

J. Hernandez N° 221 07 251 252 Urb. Chocallita del Estero N. Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51) 0 907 0961 - Anexo Lab: 111
 www.fsc-certificaciones.com

FSC
CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1452-2020 NA/LAB/FSC

Nombre del Cliente : BALLEADARES ZEVALLOS CARMEN PADLA
 Dirección del Cliente : Jirón Pimentel 673 / Santiago de Surco - Lima - Lima
 N° Orden de Servicio : 1401-2020/LAB/FSC
 Procedencia de la Muestra : Muestra proporcionada por el cliente
 Fecha de Muestreo : No Aplica
 Fecha de Recepción : 23/05/2020
 Fecha de Análisis : 23/05/2020
 Lugar de Muestreo : No Aplica
 Muestra / Descripción : M05 Mueja (pleurozium s.) / 31 Bolsa de polietileno que contiene 4kg / FE: 23/05/20 / Punto de muestreo: 20%

Temperatura de Recepción : Ambiente

RESULTADOS DE ENSAYO

Ensayo	Unidades	Pa	Resultado
NITRÓGENO TOTAL	%	T	1.05

MÉTODOS DE ENSAYO

Ensayo	Norma y Referencia
NITRÓGENO TOTAL	ISO 15924 1905-1980 Almidón. Determinación de nitrógeno Método Kjeldahl

Los resultados de los ensayos contrastan con los de las muestras analizadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de gestión de la entidad que le precede. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.C.

FSC F-LAB-011/V-02 Pág. 1 de 2

J. Hernandez N° 221 07 251 252 Urb. Chocallita del Estero N. Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51) 0 907 0961 - Anexo Lab: 111
 www.fsc-certificaciones.com

FSC
CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1452-2020 NA/LAB/FSC

Lima, 26 de Setiembre del 2020.

Andrés...

MICHA HUALDEGUA IBRITO
 Jefe de Laboratorio de Química y Saneamiento

Los resultados de los ensayos contrastan con los de las muestras analizadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de gestión de la entidad que le precede. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.C.

FSC F-LAB-011/V-02 Pág. 2 de 2

J. Hernandez N° 221 07 251 252 Urb. Chocallita del Estero N. Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51) 0 907 0961 - Anexo Lab: 111
 www.fsc-certificaciones.com

FSC CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1453-2020 NAILAB/FSC

Nombre del Cliente : BALLADARES ZIVALLOS CARMEN ROSA
 Dirección del Cliente : Jirón Promesa 673, Santiago de Surco - Lima - Lima
 N° Orden de Servicio : N81 2020/ADM/100
 Procedencia de la Muestra : Muestra proporcionada por el cliente
 Fecha de Muestreo : No Aplica
 Fecha de Recepción : 23/09/2020
 Fecha de Análisis : 23/09/2020
 Lugar de Muestreo : No Aplica
 Muestra / Descripción : M06 Muestra (planozium s.l.) / 01 Bolsa de polietileno que contiene 40g / PE: 23/09/20 / Punto de muestreo: 40G
 Temperatura de Recepción : Ambiente

RESULTADOS DE ENSAYO

Ensayo	Unidades	Eq.	Resultado
NITROGENO TOTAL	%	1	1.06

MÉTODOS DE ENSAYO

Ensayo	Norma y Referencia
NITROGENO TOTAL	GOVERN 1985-1980 Aumentado Determinación de nitrógeno. Método Kjeldahl

Los resultados de los ensayos performed sólo a los números analizados y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado de análisis de calidad de la entidad que lo produce. Puede consultarse la reproducción total o parcial de este informe en la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.C.

FSC F-LAS-011/V/02 Pág. 1 de 2

3 Monterrey 19 201 09 201 202, Urb. Chacarillo del Estero, Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51-1) 461 0961 - Anexo Lab: (1)
 www.fscperu.com

FSC CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1453-2020 NAILAB/FSC

Lima, 26 de Setiembre del 2020

Andrea C.

ANDREA RECHAUSTICQUE BRITO
 Jefe de Laboratorio de Química y Suelos

Los resultados de los ensayos performed sólo a los números analizados y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado de análisis de calidad de la entidad que lo produce. Puede consultarse la reproducción total o parcial de este informe en la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.C.

FSC F-LAS-011/V/02 Pág. 2 de 2

3 Monterrey 19 201 09 201 202, Urb. Chacarillo del Estero, Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51-1) 461 0961 - Anexo Lab: (1)
 www.fscperu.com

FSC CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1480-2020 NAILAB/FSC

Nombre del Cliente : BALLADARES ZIVALLOS CARMEN ROSA
 Dirección del Cliente : Jirón Promesa 673, Santiago de Surco - Lima - Lima
 N° Orden de Servicio : 9542 2020/ADM/100
 Procedencia de la Muestra : Muestra proporcionada por el cliente
 Fecha de Muestreo : No Aplica
 Fecha de Recepción : 30/09/2020
 Fecha de Análisis : 30/09/2020
 Lugar de Muestreo : No Aplica
 Muestra / Descripción : M07 Muestra (planozium s.l.) / 01 Bolsa de polietileno que contiene 40g / PE: 30/09/20 / Punto de muestreo: 10G
 Temperatura de Recepción : Ambiente

RESULTADOS DE ENSAYO

Ensayo	Unidades	Eq.	Resultado
NITROGENO TOTAL	%	1	3.90

MÉTODOS DE ENSAYO

Ensayo	Norma y Referencia
NITROGENO TOTAL	GOVERN 1985-1980 Aumentado. Determinación de nitrógeno. Método Kjeldahl

Los resultados de los ensayos performed sólo a los números analizados y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado de análisis de calidad de la entidad que lo produce. Puede consultarse la reproducción total o parcial de este informe en la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.C.

FSC F-LAS-011/V/02 Pág. 1 de 2

3 Monterrey 19 201 09 201 202, Urb. Chacarillo del Estero, Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51-1) 461 0961 - Anexo Lab: (1)
 www.fscperu.com

FSC CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1480-2020 NAILAB/FSC

Lima, 2 de Octubre del 2020

Andrea C.

ANDREA RECHAUSTICQUE BRITO
 Jefe de Laboratorio de Química y Suelos

Los resultados de los ensayos performed sólo a los números analizados y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado de análisis de calidad de la entidad que lo produce. Puede consultarse la reproducción total o parcial de este informe en la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.C.

FSC F-LAS-011/V/02 Pág. 2 de 2

3 Monterrey 19 201 09 201 202, Urb. Chacarillo del Estero, Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51-1) 461 0961 - Anexo Lab: (1)
 www.fscperu.com

FSC CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1481-2020 NALAB/FSC

Nombre del Cliente : BALLEZA ROSAVALLOS CARMEN PAOLA
 Dirección del Cliente : Jirón Pizarro 675 Santiago de Surco - Lima
 N° Orden de Servicio : 1042200MANT00
 Procedencia de la Muestra : Muestra proporcionada por el cliente
 Fecha de Muestra : No Aplica
 Fecha de Recepción : 30/09/2020
 Fecha de Análisis : 30/09/2020
 Lugar de Muestreo : No Aplica
 Muestra / Descripción : 1481 Muestra pleurozium y / 01 Bolsa de polietileno que contiene alg / PE 300x20 / Punto de muestreo 416

Temperatura de Recepción : Ambiente

RESULTADOS DE ENSAYO

Ensayo	Unidades	Via	Resultado
NITROGENO TOTAL	%	1	3.98

MÉTODOS DE ENSAYO

Ensayo	Norma o Referencia
NITROGENO TOTAL	SOLOVEN 1388 1983 Aumentado. Determinación de nitrógeno Método Kjeldahl

Los resultados de los ensayos se refieren solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado de sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.S.

FSC/F-LAB-011/V/02 Pág. 1 de 2

9, Monterrey N° 221 Of. 201 200, Urb. Chacarilla del Esteroque, Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51) 11 499 0861 - Anexo: Lab. 111
 www.fsc.org/certificacion

FSC CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1481-2020 NALAB/FSC

Lima, 3 de Octubre del 2020

Andrea Brito

ANDREA RICHARDELLA BRITO
 Jefa de Laboratorio de Química y Suelos

Los resultados de los ensayos se refieren solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado de sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.S.

FSC/F-LAB-011/V/02 Pág. 2 de 2

9, Monterrey N° 221 Of. 201 200, Urb. Chacarilla del Esteroque, Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51) 11 499 0861 - Anexo: Lab. 111
 www.fsc.org/certificacion

FSC CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1530-2020 NALAB/FSC

Nombre del Cliente : BALLEZA ROSAVALLOS CARMEN PAOLA
 Dirección del Cliente : Jirón Pizarro 675 Santiago de Surco - Lima
 N° Orden de Servicio : 1042200MANT00
 Procedencia de la Muestra : Muestra proporcionada por el cliente
 Fecha de Muestra : No Aplica
 Fecha de Recepción : 07/10/2020
 Fecha de Análisis : 07/10/2020
 Lugar de Muestreo : No Aplica
 Muestra / Descripción : 1481 Muestra JEL POCRA 07/10/20 / 01 Bolsa de polietileno que contiene 100g

Temperatura de Recepción : Ambiente

RESULTADOS DE ENSAYO

Ensayo	Unidades	Via	Resultado
NITROGENO TOTAL	%	1	1.00

MÉTODOS DE ENSAYO

Ensayo	Norma o Referencia
NITROGENO TOTAL	SOLOVEN 1388 1983 Aumentado. Determinación de nitrógeno Método Kjeldahl

Los resultados de los ensayos se refieren solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado de sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.S.

FSC/F-LAB-011/V/02 Pág. 1 de 2

9, Monterrey N° 221 Of. 201 200, Urb. Chacarilla del Esteroque, Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51) 11 499 0861 - Anexo: Lab. 111
 www.fsc.org/certificacion

FSC CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1530-2020 NALAB/FSC

Lima, 10 de Octubre del 2020

Andrea Brito

ANDREA RICHARDELLA BRITO
 Jefa de Laboratorio de Química y Suelos

Los resultados de los ensayos se refieren solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado de sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FSC Certificaciones S.A.S.

FSC/F-LAB-011/V/02 Pág. 2 de 2

9, Monterrey N° 221 Of. 201 200, Urb. Chacarilla del Esteroque, Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51) 11 499 0861 - Anexo: Lab. 111
 www.fsc.org/certificacion

FSC
CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1531-2020 NALAB/FSC

Nombre del Cliente : BALLABARCA ZUVALLOS CARMEN FROILA
 Dirección del Cliente : Jirón Prometeo 573, Santiago de Surco - Lima - Lima
 N° Orden de Servicio : 1615-2020-LAB/FSC
 Procedencia de la Muestra : Muestra proporcionada por el cliente
 Fecha de Muestreo : No Aplica
 Fecha de Recepción : 07/10/2020
 Fecha de Análisis : 07/10/2020
 Lugar de Muestreo : No Aplica
 Muestra / Descripción : MMS MUSGO RED #FCHA 07/10/20 / 01 Botas de polietileno que contienen 300g
 Temperatura de Recepción : Ambiente

RESULTADOS DE ENSAYO

Ensayo	Unidades	RA	Resultado
NITROGENO TOTAL	%	1	1.03

MÉTODOS DE ENSAYO

Ensayo	Norma o Referencia
NITROGENO TOTAL	CONVENIO 1385-1980 Aumentado. Determinación de nitrógeno Método Kjeldahl

Los resultados de este ensayo certificarán sólo a las muestras analizadas y no deben ser utilizadas como una certificación de conformidad de ningún otro producto o como certificado de análisis de calidad de un proceso. Cada cliente es responsable de verificar que el método de ensayo utilizado en la certificación es el adecuado para el producto que se analiza.
 FSC F-1531-2020 Pág. 1 de 1

Av. Monterrey N° 221 OF. 201-202, URS, Chicla de Chiriqui, Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51) 1 4617061 - Anexo Lab (1)
 www.fscperu.com

FSC
CERTIFICACIONES

INFORME DE ENSAYO N° 1531-2020 NALAB/FSC

Lima, 30 de Octubre del 2020

Andreea

ANDREEA NICHALSTEOIU BRUTO
 Jefa de Laboratorio de Química y Sereología

Los resultados de este ensayo certificarán sólo a las muestras analizadas y no deben ser utilizadas como una certificación de conformidad de ningún otro producto o como certificado de análisis de calidad de un proceso. Cada cliente es responsable de verificar que el método de ensayo utilizado en la certificación es el adecuado para el producto que se analiza.
 FSC F-1531-2020 Pág. 2 de 1

Av. Monterrey N° 221 OF. 201-202, URS, Chicla de Chiriqui, Santiago de Surco, Lima - Perú
 Teléfono: (51) 1 4617061 - Anexo Lab (1)
 www.fscperu.com

Resultados de opinión de expertos

Ponderación de criterios para la elaboración del mapa de aptitud de ubicación

Trabajo de investigación: Determinación de la capacidad de absorción de material particulado y nitrógeno en la especie briófito *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja

Instrucciones al profesional al que se solicita la revisión.

Bajo la consideración de su experiencia en el tema se le solicita ponderar los criterios seleccionados para la elaboración de un mapa de aptitud de ubicación de musgos verticales de musgo en el distrito de San Borja, Lima. Esta ponderación se lleva a cabo bajo la Matriz de Saaty (método que disminuye la subjetividad en la asignación de pesos a los criterios elegidos) y la revisión bibliográfica de la investigación.

Para ello, se han considerado los siguientes criterios:

Relacionados al hábitat de la especie:

- 1. Radiación solar:** se definió este criterio debido a que las briófitas como el musgo y especialmente el *Pleurozium quitense*, son especies que pueden ser afectadas directamente por la radiación solar (Olimé & Gradstein, 2019).
- 2. Presión de vapor de agua:** se definió este criterio debido a que la humedad relativa es el % de presión de vapor que tiene el aire respecto de la máxima que puede tener a esa temperatura. Asimismo, la humedad es uno de los factores primordiales para la distribución de las briófitas en los trópicos (Olimé & Gradstein, 2019).

Relacionado al interés del proyecto:

- 3. Cercanía a vías públicas:** se eligió este criterio en función a que es la principal fuente emisora de contaminantes de NO_x y material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}).

Detalle del procedimiento de ponderación.

- Puntuar del 1-10 cada criterio considerando comparar la variable de la fila frente al de la columna, ponderando cuál de las dos prevalece o es más importante frente a la otra.

EJEMPLO:

- Radiación solar vs Presión de vapor de agua= 4, considerando que es más importante el factor radiación con respecto al vapor de agua para tener en cuenta la ubicación del musgo.
- Radiación solar vs Presión de vapor de agua= 1/6, considerando que es más importante la presión de vapor de agua respecto a la radiación solar.

- Se presentan las asignaciones o puntajes de importancia a considerar en la ponderación:

1/10	3/8	1/6	1/4	1/2	1	2	4	6	8	10
Extrema	Muy fuerte	Fuerte	Moderada	Ligera	Igual	Ligera	Moderada	Fuerte	Muy fuerte	Extrema

3. Se presenta la matriz a ser completada por el profesional. Sólo completar los recuadros en amarillo.

Matriz de Saaty			
Criterios seleccionados	Radiación Solar	Presión de vapor de agua	Cercanía a vías públicas
Radiación Solar	1	4	4
Presión de vapor de agua	-	1	6
Cercanía a vías públicas	-	-	1

Nombre del experto	Firma del experto
Dra. Mayra Anasco Livia	

Ponderación de criterios para la elaboración del mapa de aptitud de ubicación

Trabajo de investigación: Determinación de la capacidad de absorción de material particulado y nitrógeno en la especie briófito *Pleurozium quitense* en el distrito de San Borja

Instrucciones al profesional al que se solicita la revisión.

Bajo la consideración de su experiencia en el tema se le solicita ponderar los criterios seleccionados para la elaboración de un mapa de aptitud de ubicación de musgos verticales de musgo en el distrito de San Borja, Lima. Esta ponderación se lleva a cabo bajo la Matriz de Saaty (método que disminuye la subjetividad en la asignación de pesos a los criterios elegidos) y la revisión bibliográfica de la investigación.

Para ello, se han considerado los siguientes criterios:

Relacionados al hábitat de la especie:

- 1. Radiación solar:** se definió este criterio debido a que las briófitas como el musgo y especialmente el *Pleurozium quitense*, son especies que pueden ser afectadas directamente por la radiación solar (Olimé & Gradstein, 2019).
- 2. Presión de vapor de agua:** se definió este criterio debido a que la humedad relativa es el % de presión de vapor que tiene el aire respecto de la máxima que puede tener a esa temperatura. Asimismo, la humedad es uno de los factores primordiales para la distribución de las briófitas en los trópicos (Olimé & Gradstein, 2019).

Relacionado al interés del proyecto:

- 3. Cercanía a vías públicas:** se eligió este criterio en función a que es la principal fuente emisora de contaminantes de NO_x y material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}).

Detalle del procedimiento de ponderación.

- Puntuar del 1-10 cada criterio considerando comparar la variable de la fila frente al de la columna, ponderando cuál de las dos prevalece o es más importante frente a la otra.

EJEMPLO:

- Radiación solar vs Presión de vapor de agua= 4, considerando que es más importante el factor radiación con respecto al vapor de agua para tener en cuenta la ubicación del musgo.
- Radiación solar vs Presión de vapor de agua= 1/6, considerando que es más importante la presión de vapor de agua respecto a la radiación solar.

- Se presentan las asignaciones o puntajes de importancia a considerar en la ponderación:

1/10	1/8	1/6	1/4	1/2	1	2	4	6	8	10
Extrema	Muy fuerte	Fuerte	Moderada	Ligera	Igual	Ligera	Moderada	Fuerte	Muy fuerte	Extrema

3. Se presenta la matriz a ser completada por el profesional. Sólo completar los recuadros en amarillo.

Matriz de Saaty			
Criterios seleccionados	Radiación Solar	Presión de vapor de agua	Cercanía a vías públicas
Radiación Solar	1	1/4	4
Presión de vapor de agua	-	1	6
Cercanía a vías públicas	-	-	1

Comentario del experto:

Me parece adecuada la ponderación de los criterios seleccionados para la elaboración de un mapa de aptitud de ubicación de musgos verticales de musgo en el distrito de San Borja. Principalmente por la importancia que se le asigna a la Presión del Vapor de agua dada la dependencia de los musgos a la Humedad Relativa.

Nombre del experto	Firma del experto
Mg. Juan Jesús Torres Guevara	