

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL**

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE
EMPLEANDO LÍQUENES EN LA CIUDAD DE BAGUA
GRANDE, PROVINCIA DE UTCUBAMBA, REGIÓN
AMAZONAS, 2017**

AUTORA: Bach. Silvia Huamán Zelada

ASESOR: Blgo. Jesús Rascón Barrios

CHACHAPOYAS - PERÚ

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL**

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE
EMPLEANDO LÍQUENES EN LA CIUDAD DE BAGUA
GRANDE, PROVINCIA DE UTCUBAMBA, REGIÓN
AMAZONAS, 2017**

AUTORA: Bach. Silvia Huamán Zelada

ASESOR: Blgo. Jesús Rascón Barrios

CHACHAPOYAS - PERÚ

2018

DEDICATORIA

A Dios

*Por la vida, la salud y la fuerza para salir adelante
a pesar de las vicisitudes de la vida.*

A mi madre Exilda Zelada Suarez

*Por su apoyo incondicional y sacrificio para sacarnos
adelante, por ser padre y madre para nosotros,
ser la gran mujer que es y por el
orgullo que siento de ser su hija.*

A mi hermana Nohemi Huamán Zelada

*Por su apoyo económico y moral en esta etapa de mi
formación profesional y por ser más que una
hermana, una amiga y una segunda madre
para mis hermanos y yo.*

A mis compañeros de aula

*Por los momentos que compartimos juntos y a
todas aquellas personas que de una u otra
forma contribuyeron en la concretización de
esta meta trazada.*

AGRADECIMIENTO

Esta investigación se ejecutó con el apoyo del Laboratorio de Investigación de Aguas y Suelos – LABISAG, del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva - INDES-CES, de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas- UNTRM.

Al Blgo. Jesús Rascón Barrios, por su oportuna asesoría y orientación, durante la concretización de esta investigación

A todas personas que me apoyaron de diversas formas en el proceso de esta investigación; docentes, colegas, amigos y familiares.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. Policarpio Chauca Valqui

Rector

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Vicerrector Académico

Dra. Flor Teresa García Huamán

Vicerrectora de Investigación

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo, Blgo. Jesús Rascón Barrios identificado con Carnet de Extranjería N° 001483863, docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, asesor de la tesis:

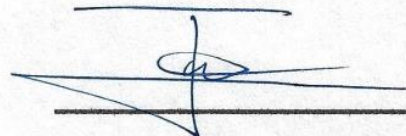
"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EMPLEANDO LÍQUENES EN LA CIUDAD DE BAGUA GRANDE, PROVINCIA DE UTCUBAMBA, REGIÓN AMAZONAS, 2017"

Presentado por la Bachiller en Ingeniería Ambiental:

Bach. SILVIA HUAMÁN ZELADA

Habiendo revisado el informe final de la tesis en mención doy la conformidad y el visto bueno para continuar con sus trámites correspondientes.

Chachapoyas, diciembre del 2018




Blgo. Jesús Rascón Barrios
Asesor de Tesis

JURADO EVALUADOR



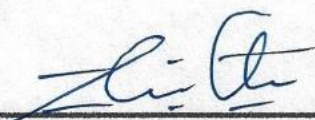
Dr. Manuel Emilio Milla Pino

Presidente



Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Secretario



Mg. Lenin Quiñones Huatangari

Vocal

DECLARACION JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Silvia Huamán Zelada, identificada con DNI° 46586895, bachiller en ingeniería ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autora de la tesis titulada:

Determinación de la calidad del aire empleando líquenes en la ciudad de Bagua Grande, provincia de Utcubamba, región Amazonas, 2017; para obtener el título profesional de ingeniera ambiental.

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias de fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda la responsabilidad que pueda derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o investigación presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraran causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se derive.

Chachapoyas, 09 de enero del 2019



Silvia Huamán Zelada

DNI: 46586895



ANEXO 3-N

**ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

En la ciudad de Chachapoyas, el día 21 de diciembre del año 2018, siendo las 10:00 horas, el aspirante Silvia Huamán Felada

defiende en sesión pública la Tesis titulada: Determinación de la calidad del aire empleando líquenes en la ciudad de Bagua Grande, provincia de Utcubamba, Región Amazonas, 2017.

para obtener el Título Profesional de Ingeniera Ambiental
a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:



Presidente : Dr. Manuel Emilio Milla Pino
Secretario : Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón
Vocal : M.Sc. Lenin Anisónes Huatungari

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.



Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 11:00 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

[Signature]
SECRETARIO

[Signature]
VOCAL

[Signature]
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR	iv
JURADO EVALUADOR	v
ÍNDICE	viii
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS	6
2.1. Área de estudio.....	7
2.2. Diseño de la investigación.....	7
2.3. Población, muestra y muestreo.....	7
2.4. Métodos.....	8
2.5. Análisis de datos.....	11
III. RESULTADOS	12
3.1. Riqueza de líquenes.....	12
3.2. Árboles muestreados.....	14
3.3. Prueba de normalidad.....	16
3.4. Correlación de Spearman.....	16
3.5. Análisis de clúster.....	17
3.6. Prueba de Kruskal-Wallis.....	18
3.7. Mapa de isocontaminación.....	19
IV. DISCUSIÓN	20
V. CONCLUSIONES	23
VI. RECOMENDACIONES	24
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
ANEXOS	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especies liquénicas identificadas, frecuencia, abundancia, cobertura (%), riqueza e IPA por sector.	13
Tabla 2. Forofitos muestreados por sector y porcentaje con presencia de líquenes.	14
Tabla 3. Normalidad de variables.	16
Tabla 4. Correlación de variables.	16
Tabla 5. Factor Qi de las especies liquénicas identificadas.	17
Tabla 6. Comportamiento de las variables según sector.	18
Tabla 7. Comportamiento de las variables según forofito.	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diseño metodológico para determinar la calidad del aire empleando líquenes en la ciudad de Bagua Grande.	6
Figura 2. Estaciones de muestreo	8
Figura 3. Rejilla utilizada para el levantamiento de información en cada forofito muestreado	9
Figura 4. Distribución de líquenes y pH promedio según forofitos.	15
Figura 5. Frecuencia de orientación	15
Figura 6. Dendrograma resultante de clúster.	18
Figura 7. Mapa de isocontaminación de la ciudad de Bagua Grande.	19

RESUMEN

Esta investigación se llevó a cabo en la ciudad de Bagua Grande, región Amazonas, con la finalidad de determinar la calidad del aire empleando líquenes. Los muestreos se realizaron en seis sectores considerados representativos para la ciudad. Se monitoreó la presencia de líquenes en los árboles, determinando la abundancia y frecuencia liquénica. Se utilizó el método del Índice de Pureza Atmosférica (IPA), como variable de análisis para determinar la existencia de contaminación del aire. Los resultados obtenidos muestran diferencias estadísticamente significativas en los valores de IPA, siendo el sector 3 el más contaminado debido a que presenta mayor tráfico vehicular. Las especies con mayor abundancia, frecuencia y cobertura liquénica fueron *Diploicia canescens* y *Lecidella elaeochroma* con un factor de resistencia de la especie (Qi) de 3,957 y 4,143. A nivel de la ciudad, la contaminación atmosférica se distribuye en la parte baja de la ciudad a lo largo de la carretera Fernando Belaúnde Terry. Los valores del IPA y pH mostraron una correlación moderadamente inversa, mientras que el diámetro a la altura del pecho (DAP) no influye en el comportamiento de ninguna variable. La mayor frecuencia de líquenes en los forofitos se presentó en la cara del lado sur y la especie arbórea más representada en este estudio fue *Azadirachta indica* (Nim) con un pH promedio de 5,41.

Palabras Clave: *Líquenes, calidad del aire, tráfico vehicular, mapa de isocontaminación.*

ABSTRACT

This investigation was carried out in the city of Bagua Grande, Amazon region, in order to determine the quality of the air using lichens. The samplings were carried out in six sectors considered representative for the city. The presence of lichens in the trees was monitored, determining abundance and lichen frequency. The Atmospheric Purity Index (IPA) method was used as an analysis variable to determine the existence of air pollution. The results obtained show statistically significant differences in the values of IPA, with sector 3 being the most contaminated due to the fact that it has greater vehicular traffic. The species with the highest abundance, frequency and lichen coverage were *Diploicia canescens* and *Lecidella elaeochroma* with a resistance factor of the species (Q_i) of 3,957 and 4,143. At the city level, air pollution is distributed in the lower part of the city along the Fernando Belaúnde Terry road. The values of IPA and pH showed a moderately inverse correlation, while the diameter at breast height (DBH) does not influence the behavior of any variable. The highest frequency of lichens in the phorophytes occurred on the south side and the tree species most represented in this study was *Azadirachta indica* (Nim) with an average pH of 5.41.

Keywords: *Lichens, air quality, vehicular traffic, isocontamination map.*

I. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de la población, por los bienes y servicios, incrementa los contaminantes en el medio ambiente (Chen, Shi, Sivakumar, & Peart, 2016). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 92% de la población mundial vive en lugares donde los niveles de calidad del aire exceden los límites fijados por este (OMS, 2016). En las zonas urbanas el alto nivel de tráfico rodado es la principal fuente de contaminación (Cortes, Cardona, Segura & Garzón, 2016), pero en países como China, India e Indonesia son los sectores industriales y energéticos los que mayor emisiones generan (Pappas & Chalvatzis, 2017), a esto se suman otras actividades que contaminan en menor escala (Costa, Cole, Coburn, Chang, Dao & Roqué, 2017).

Estas emisiones se producen a partir de la quema de combustibles fósiles para la producción de energía (Atilgan & Azapagic, 2015), uso de vehículos antiguos, como aquellos fabricados entre los años 1984 y 1992 que no poseen convertidor los cuales al ser comparados con vehículos que posee un convertidor catalítico, muestran diferencias de al menos 80% mas de emisiones de NOx y aún mayores para el caso de CO y COV (Van, Moll, & Dirks, 2000). La puesta en marcha de maquinaria en los diferentes procesos productivos de las industrias son responsables también de la contaminación atmosférica, debido a la falta de control en las emisiones finales de cada uno de estos procesos (Zhang, Worrell, & Crijns-Graus, 2015).

En la atmósfera, estos contaminantes pueden llegar a niveles muy altos conllevando a un aumento en el calentamiento global (Jiang & Guan, 2017), mientras que en niveles bajos de la atmósfera generan impactos negativos en la salud de las personas y animales donde se ha demostrado que los problemas más destacados a causa de la contaminación son estrés oxidativo y neuroinflamación (Costa et al., 2017; Zhi, Chen, Hao, Wang, Song, & Mok., 2017), esto se ve confirmado por la OMS donde indica que el 94% de las muertes se deben a enfermedades no transmisibles, sobre todo a enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares, la neumopatía obstructiva crónica y el cáncer de pulmón y que los más vulnerables son las mujeres, niños y ancianos (OMS, 2016). Algunos seres vivos como los líquenes también se ven afectados mostrando cambios en su diversidad y distribución (Agnan, Probst, & Séjalon-Delmas, 2017), por lo que se aprovecha esta asociación mutualista como un

bioindicador para realizar estudios sobre la calidad del aire en un determinado lugar (Manninen, 2018).

Un organismo se considera bioindicador cuando puede ser utilizado para determinar y evaluar el índice de contaminación de un lugar, especialmente de la atmósfera o el agua (Hawksworth, Iturriaga y Crespo 2005). El empleo de los bioindicadores como herramientas de evaluación de la calidad ambiental es un procedimiento indirecto, no mide directamente las variables abióticas, por lo que, no siempre, estos ofrecen datos cuantitativos (Baltanás, 2000). Los líquenes son considerados buenos bioindicadores y ofrecen resultados cualitativos inmediatos de los niveles de contaminación en grandes áreas y, por lo tanto, actúan como señales de alarma (Monges, 2018).

Los líquenes no son organismos individuales sino asociaciones mutualistas entre hongos y algas (o cianobacterias), que pueden funcionar en la naturaleza como una unidad, donde los tejidos del hongo rodean al alga (o cianobacteria) fotosintética, y es la relación entre esta pareja lo que determina el tipo de desarrollo: en forma de costra (crustáceo), en forma de hoja (foliáceo), o de diminuto arbusto (fruticuloso). Su consideración como buenos bioindicadores de la calidad del aire, deriva de sus características biológicas, como la carencia de raíz y sistemas de conducción, lo que los hace depender completamente de la atmósfera; no poseen cutícula, que actúen como barrera protectora ante las sustancias del ambiente; no poseen mecanismos de eliminación de los contaminantes; son cosmopolitas pero al mismo tiempo se desarrollan en ambientes con características bien definidas; son perennes con crecimiento lento y gran longevidad (Loppi & Pirintsos, 2003). No todas las especies de líquenes responden del mismo modo, las más sensibles desaparecen con las primeras alteraciones, mientras que las especies tolerantes permanecen e incluso inicialmente van aumentando su presencia, hasta que llega un nivel de concentración de contaminantes demasiado elevados que provocan su desaparición, produciéndose el llamado desierto liquénico (Moreno, Sánchez, & Hernández, 2007). Es importante comprender que los líquenes nunca podrán reemplazar totalmente a los equipos técnicos que miden contaminación ambiental, pero son una forma de medición de la contaminación de acuerdo a su presencia o ausencia en determinados lugares (Hawksworth et al., 2005).

El conocimiento de la calidad de aire es determinante para la implementación de medidas que contrarresten estas condiciones (Shen, Wei, & Yang, 2017), por lo que el estudio de líquenes resulta ser un método eficaz y económico para obtener esta información (Hawksworth et al., 2005) siendo utilizados para determinar la acumulación de metales pesados y radiactividad (Agnan et al., 2017), caracterizar y cuantificar hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (Gómez, Del Valle, Galarraga, Hernández, Roschman-González & Escalona, 2013), determinar los efectos que provocan determinados herbicidas en los ecosistemas (Carrera & Carreras, 2011), conocer el grado de alteración de un ecosistema natural (Gatica, Pereira, & Vallejos, 2011), conocer la cronología de estructuras antiguas (Zilio, Hammond, & Castro, 2017), y entre otras, como bioindicadores de la calidad del aire, siendo esta área donde más estudios se han desarrollado, como el caso de Cuba (Estévez et al., 2011), Bolivia (Gonzales, Luján, Navarro, & Flores, 2016), Colombia (Rubiano & Chaparro, 2006), Ecuador (Ochoa-Jiménez, Cueva-Agila, Prieto, Aragón, & Benitez, 2015) y entre otros países, donde para obtener los resultados se utiliza fórmulas ya establecidas.

El índice más utilizado es el Índice de Pureza Atmosférica (IPA), el cual permite determinar gradualidad en los niveles de contaminación atmosférica, relacionando la riqueza de los líquenes con la calidad del aire que junto con valores de cobertura de líquenes se usan para generar mapas de isocontaminación. Uno de esos mapas fue desarrollado por LeBlanc y De Sloover en 1970 con datos obtenidos del IPA en la población francesa de Montreal, el cual relacionaba valores que se encontraban dentro de cierto rango, diferenciándose cinco niveles siendo el uno es el más contaminado y el cinco es el menos contaminado y en donde los lugares con valores similares se denominan isotóxicas. Este método también se aplicó en Bolivia que a través del IPA se logró identificar zonas de isocontaminación (Gonzales et al., 2016), al igual que en Colombia (Simijaca, Morales, & Vargas, 2014) y Costa Rica (Neurohr, Monge-Nájera, & Méndez-Estrada, (2013).

En Perú, se han reportado varios trabajos tanto de inventariado de líquenes, como el caso Núñez-Zapata, Divakar, Huallparimachi, Holgado, Vela, Pavlich, & Crespo, (2015), que realizaron un inventario de macrolíquenes en el Santuario Histórico de Machu Picchu y lograron obtener un total de 67 especies de las cuales 9 constituyeron nuevos registros para el país, así como su empleo como bioindicadores de calidad del

aire, como el de Bedregal et al. (2009), que en un monitoreo activo en la ciudad de Lima con especies de *Usnea sp.* y *Tillandsia capillaris*, reportaron el alto grado de contaminación que presentan algunos puntos muestreados e indican a la actividad industrial y las emisiones vehiculares como principales fuentes contaminantes. Quispe, Ñique, & Chuquillin (2013) en Tingo María, determinaron a través del IPA, que los niveles de contaminación atmosférica en la zona urbana tenían una estrecha relación con las tasas de flujo vehiculares, además reportaron a *Physcia lopezii* y *Hyperphyscia pyvithrocardia* como especies más tolerantes y a *Chrysothrix candelaris* como la especie más sensible a la contaminación. Mendoza (2018), empleó líquenes como bioindicadores para conocer la calidad del aire en la ciudad de Chachapoyas – Amazonas, por medio del Índice de Pureza Atmosférica Modificado (IPAM), encontrando que el sector centro es el más contaminado (contaminación máxima) respecto a otros sectores, atribuyendo esto a la actividad comercial y de transporte junto con la falta de áreas verdes del sector y del material particulado que se genera producto de las calles no pavimentadas. Además, determinó, mediante la correlación de Spearman ($r = 0,054$) que la variable forofito no es una variable que influya en el valor del IPAM.

La Gestión de la Calidad del Aire en el Perú cuenta con una institucionalidad establecida en los niveles nacionales (MINAM, DIGESA, SENAMHI, OEFA, sectores), regional y local, así como la participación del sector privado y sociedad civil, cada día más conscientes de la importancia de la calidad del aire para la salud. Se cuenta con un marco normativo que define los instrumentos de gestión para la calidad del aire, como son los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), Límites Máximos Permisibles (LMP), conformación de los Grupos de Estudio Técnico Ambiental (GESTA) para la elaboración de los planes de acción de la calidad del aire y la implementación de los mismos; así como con programas de vigilancia de la calidad del aire.

Según un informe emitido por el MINAM (2014), indica que en la ciudad de Bagua Grande, el dióxido de azufre en los valores máximos diarios muestra un aproximado de $21 \text{ ugSO}_2/\text{ m}^3$ aire, valores, que para ese entonces, superaron los Estándar de Calidad Ambiental ($20 \text{ ugSO}_2/\text{ m}^3$ aire) establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM). Este contaminante es generado principalmente por fuentes móviles (tráfico vehicular) al igual que el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), y

material particulado (MP). Bagua Grande es la ciudad con mayor población de la región Amazonas y uno de los distritos con mayor movimiento comercial de la Provincia de Utcubamba, por lo que esto involucra mayor uso de los servicios que en el lugar se brindan, uno de ellos es el servicio de transporte (livianos y pesados) el cual, según un informe emitido por el MINAM (2011), indica que el parque automotor es la mayor fuente de contaminación del aire en el país y que en los últimos años se ha evidenciado una relación directa entre el incremento del número de vehículos y la contaminación del aire. Esto se agrava con la presencia de una de las vías de acceso más transitadas hacia el oriente, la carretera Fernando Belaunde Terry, en la cual se tiene tránsito pesado en mayor cantidad.

Esta investigación tuvo como objetivo conocer la calidad del aire en la ciudad de Bagua Grande a partir del uso de líquenes como bioindicadores, y así establecer áreas de isocontaminación atmosférica de la ciudad, mediante el uso del Índice de Pureza Atmosférica (IPA), con el fin de que las entidades involucradas establezcan pautas y/o normativas en mejora de la calidad del aire, además de la protección del arbolado público y sus huéspedes (líquenes).

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Para determinar la calidad de aire empleando líquenes en la ciudad de Bagua Grande se realizaron diferentes actividades, las cuales se resumen en el siguiente flujograma (Figura 1).

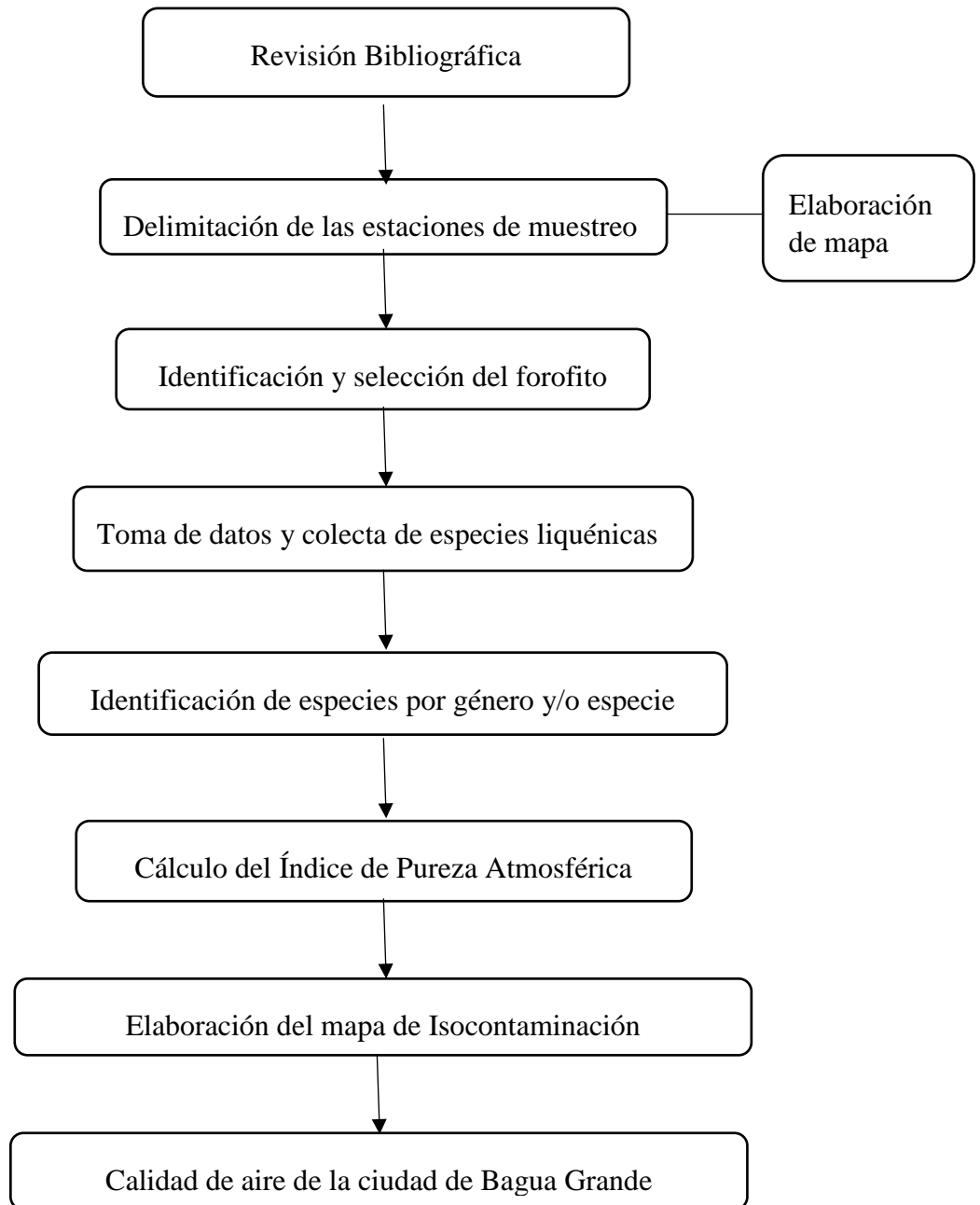


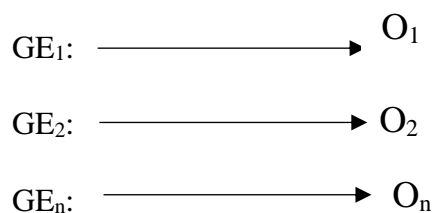
Figura 1. Diseño metodológico para determinar la calidad del aire empleando líquenes en la ciudad de Bagua Grande.

2.1. Área de estudio

Este estudio se desarrolló en la ciudad de Bagua Grande, región Amazonas, durante el mes de octubre. Se ubica al norte del Perú, $05^{\circ} 45' 21''$ de Latitud sur, $78^{\circ} 26' 34''$ de Longitud Oeste y una altitud media de 440 m.s.n.m. Limita al noreste con la provincia de Bagua y el distrito de Cajaruro, al sureste con el distrito de Jamalca, al suroeste con el distrito de Lonya Grande, el distrito de Yamón y el distrito de Cumba y al noreste con el distrito de El Milagro. Es la ciudad más poblada de la región Amazonas con una población estimada de 42 396 habitantes al 2015. Posee un clima muy cálido, con una temperatura que varía entre $20C^{\circ}$ a $34C^{\circ}$ y trayectoria del viento en dirección norte. Además, es un activo centro comercial transitorio, paso activo para uno de los ingresos a la selva peruana, a través de la carretera Fernando Belaúnde Terry.

2.2. Diseño de la investigación

El proyecto se desarrolló bajo un diseño no experimental, presentando el siguiente esquema:



Donde:

G_1, G_2, \dots, G_n = Unidades de muestreo.

O_1, O_2, \dots, O_{10} = Información de interés recogidas en cada una de las unidades de muestreo.

2.3. Población, muestra y muestreo

Población: Seis sectores de 0.25 km^2 cada uno, distribuidos en la ciudad de Bagua Grande.

Muestra: Especies liquénicas presentes en el área muestreada de cada forofito o unidad de muestreo en un determinado sector.

Muestreo: Se realizó un muestreo no probabilístico, basado en el conocimiento previo del área de estudio.

2.4. Métodos

Selección de las estaciones de muestreo

Se consideró las recomendaciones de Llop, Pinho, Matos, Pereira, & Branquinho (2012), procediendo a graficar mediante el programa ArcGis 10.4 y el mapa de catastro de la ciudad de Bagua Grande, 6 cuadrantes de 0,25 km² cada uno, como áreas representativas para el casco urbano (Figura 2).

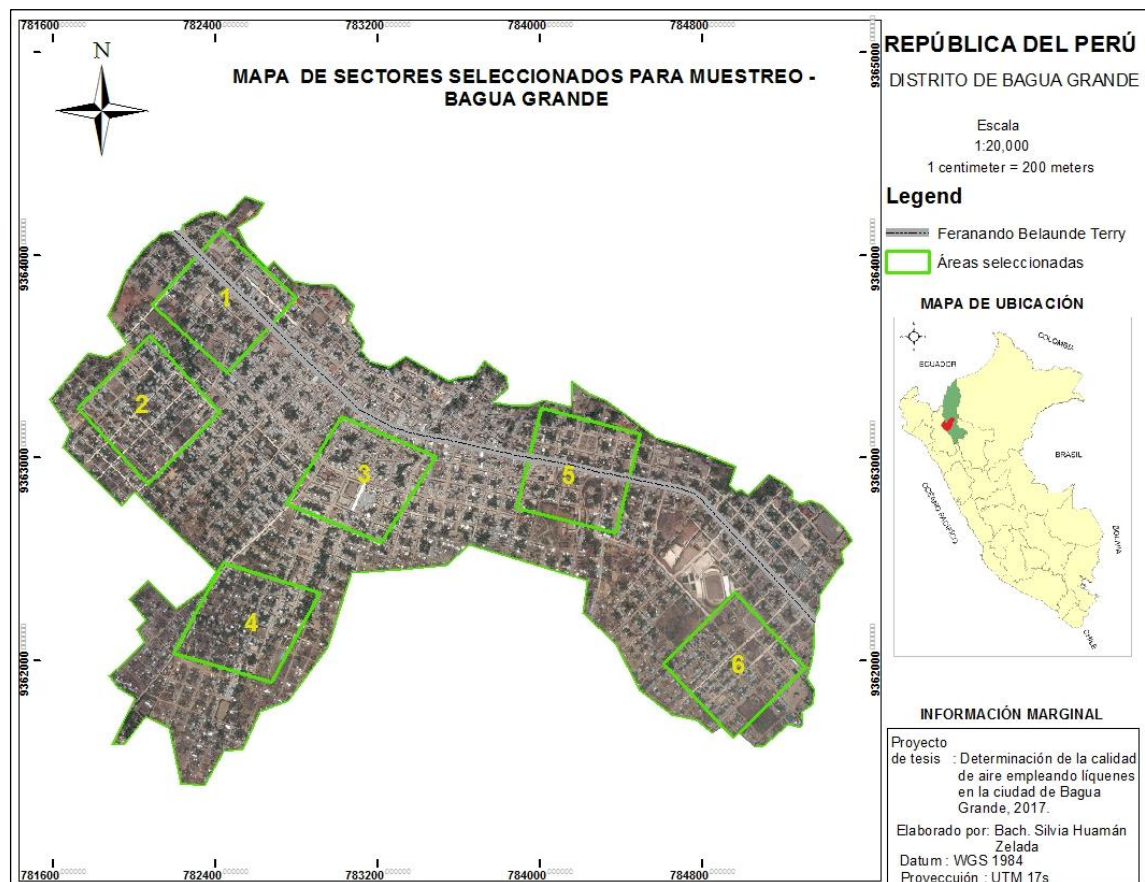


Figura 2. Estaciones de muestreo

Identificación del forofito

Debido a la poca disponibilidad de árboles en la ciudad se siguió las recomendaciones de Llop et al. (2012), haciendo un muestreo total del arbolado público urbano en calles verticales como horizontales de cada área establecida. Los árboles muestreados fueron aquellos que presentaron un DAP (altura de pecho a 1.20m desde el suelo) igual o mayor a 22cm independientemente de su especie y se descartó aquellos que mostraron cortezas dañadas (por acción humana, de animales o bien por incendios) o con alteraciones fitosanitarias.

Colecta de especies liquénicas

Se utilizó una gradilla de 10cm de ancho por 50cm de alto, dividida en 20 cuadrados iguales de 5cm x 5cm de lado (Figura 3). La base de la gradilla se colocó a una altura de 1 metro del suelo (Ochoa-Jiménez et al., 2015).



Figura 3. Rejilla utilizada para el levantamiento de información en cada forofito muestreado

Para el inventariado de los líquenes se consideró lo mencionado por Lijteroff, Lima & Prieri, (2009) seleccionando así el lado del forofito que presentó mayor cobertura liquénica y se evitó el inventariado de líquenes en partes del forofito dañadas o descortezadas, con nudos, canalículos o con cobertura de briofitas superior al 25%.

Para el recojo de muestras liquénicas, se realizó la metodología usada por Gómez *et al.* (2013), usando así navajas, pinzas, espátulas de acero y lupa de aumento. Los especímenes se introdujeron en bolsas de papel para evitar la putrefacción y luego fueron transportados en cajas de cartón al laboratorio para la toma de fotografías al estereoscopio. Paralelo a esto se recogió aproximadamente 3 g de corteza de cada especie arbórea censado, para la determinación de su pH.

Los datos se recopilaron en un formulario (Anexo N° 2) elaborado para esta investigación, donde se registró, entre otros, abundancia, frecuencia y la cobertura de especies liquénicas. Para determinar el valor de este último, en cada forofito, se calculó el área (centímetros cuadrados) ocupada por cada especie dentro del área de la cuadrícula.

Identificación de líquenes

El tamaño diminuto de los líquenes recolectados no permitió hacer una identificación confiable por lo que estos fueron enviados, correctamente codificados junto con las fotos tomadas al estereoscopio, a un especialista para su identificación (Anexo N° 3).

Método de Kricke para medir pH

Para medir el pH se recolectó aproximadamente 3 g de corteza de cada árbol muestreado, retirando la capa superficial lo más delgado posible con la finalidad de medir solo el nivel de pH donde se encuentra la flora liquénica. Las muestras se guardaron en bolsas de papel debidamente codificadas y posteriormente cada muestra se procesó en el laboratorio, donde se pesó un gramo (1g) de corteza (por triplicado) por cada árbol, esto se colocó en 50 mL de KCl 0,25M y se incubó por el lapso de 1 hora a 80°C en una estufa. Transcurrido el tiempo, se dejó enfriar hasta una temperatura de 20°C y se midió el pH con un pH-metro analítico (Kricke & Loppi, 2002).

Índice de Pureza Atmosférica

Para la estimación de los niveles de calidad del aire se utilizó la técnica conocida como Índice de Pureza Atmosférica (IPA), propuesto por Le Blanc & De Sloover (1970) y modificado por Rubiano (1983) el cual toma en cuenta la frecuencia, cobertura, el número de forofitos por estación y el factor de resistencia de cada especie (Q_i). Este valor se determina con la siguiente formula:

$$IPA_j = \sum_j^n \frac{(f_i * Q_i)}{n} * C_i \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

IPA_j: Índice de Pureza Atmosférica de la estación *j* (estación = forofito)

C_i : Cobertura relativa de la especie *i* en la estación *j*

f_i : Frecuencia de la especie *i* (número de forofitos de la estación *j* en que aparece la especie *i*).

n : Número total de forofitos censados en la estación *j*

Q_i : factor de tolerancia/sensibilidad de la especie *i* (Q_i), el cual relaciona el número de especies asociadas con el número de estaciones en la que la

especie *i* está presente. Este valor es inversamente proporcional a la contaminación y se lo determina con la siguiente ecuación (Rubiano & Chaparro, 2006):

$$Q_i = \sum_j \frac{A_{j-1}}{E_j} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

Q_i : Factor de resistencia de la especie *i*

A_j : Número de especies presentes en cada estación (*j*) donde se encuentre la especie (*i*).

E_j : Número de estaciones (*j*) donde se halle la especie (*i*).

Elaboración de mapa de isocontaminación

Según Rubiano (1988), menciona que la clasificación de áreas homogéneas en cuanto al comportamiento de las comunidades liquénicas corresponde a áreas similares por niveles de contaminación, por lo que en este estudio con la finalidad de definir estas áreas, los IPA_{árbol} registrados se agruparon en clases de acuerdo con su dispersión y/o la similitud.

El mapa de isocontaminación se elaboró utilizando la herramienta de interpolación de Kriging del programa ArcGis 10.4 (Gonzales et al., 2016; Pahlavani, Sheikhian, & Bigdeli, 2017).

2.5. Análisis de datos

Se usó la prueba de Kolmogórov–Smirnov, para determinar la normalidad de los datos, debido al tamaño de la muestra y la sensibilidad que esta ofrece. Se aplicó un coeficiente de correlación ordinal de rangos de Spearman con el valor del IPA árbol, el pH, DAP, cobertura por árbol y riqueza por árbol. Además de un análisis de Clúster para agrupar a las diferentes especies por su tolerancia o sensibilidad a la contaminación atmosférica, de acuerdo a la similitud de los datos obtenidos.

La comparación entre los datos recogidos en cada uno de los sectores se realizó por medio de la prueba de Kruskal-Wallis, la cual es usada para comparar muestras o grupos independientes cuando no hay distribución normal. Para el análisis estadístico se utilizó el programa IBM SPSS Statistics (versión 25).

III. RESULTADOS

3.1. Riqueza de líquenes

Se registraron un total de 23 especies de líquenes epífitos en los 71 árboles muestreados (Tabla 1). Las especies con mayor frecuencia y abundancia fueron *Diploicia canescens* (192 y 409) y *Lecidella elaeochroma* (125 y 252) y el valor más bajo de frecuencia y abundancia (1 y 1) lo presentó *Arthonia* sp2. Los sectores que presentaron mayor riqueza fueron el sector 1, sector 2 y sector 4 con 16, 16 y 17 especies respectivamente, los sectores 5 y 6 obtuvieron 7 especies cada una, y el sector 3 registró solo una especie.

Los sectores 2, 4 y 6, presentaron un valor de pH ácido con 5,88, 5,33 y 5,25, mientras que en los sectores 1 y 5 el valor de pH fue ligeramente ácido (6,61 y 6,64) y al sector 3 que presentó un pH neutro (7,07).

Tabla 1. Especies liquénicas identificadas, frecuencia, abundancia, cobertura (%), riqueza e IPA por sector.

Especies/Sector	sector 1	sector 2	sector 3	sector 4	sector 5	sector 6	frecuencia	abundancia
<i>Acarospora placodiiformis</i>	0,81	0,03	0,01	0,03	0,12	-	28	34
<i>Acarospora</i> sp.	0,76	0,17	-	-	0,07	-	42	58
<i>Arthonia</i> sp.	0,96	-	-	0,04	-	-	11	13
<i>Arthonia</i> sp. 1	0,92	-	-	0,08	-	-	10	12
<i>Arthonia</i> sp. 2	-	1	-	-	-	-	1	1
<i>Candelaria concolor</i>	0,09	0,44	-	0,48	-	-	13	17
<i>Diploicia canescens</i>	0,26	0,31	-	0,29	0,08	0,06	192	409
<i>Lecanora</i> sp.	0,5	0,5	-	-	-	-	34	76
<i>Lecanora</i> sp. 1	-	0,32	-	0,04	-	0,64	17	25
<i>Lecidella elaeochroma</i>	0,18	0,14	-	0,58	-	0,1	125	252
<i>Lepraria</i> sp.	0,4	0,24	-	0,24	-	0,12	30	38
<i>Opegrapha atra</i>	-	-	-	1	-	-	7	7
<i>Opegrapha</i> sp.	0,05	-	-	0,24	0,71	-	20	33
<i>Parmelia caperata</i>	0,05	0,55	-	0,13	0,24	0,04	43	58
<i>Parmelia soledians</i>	0,51	0,22	-	0,09	-	0,18	42	52
<i>Parmeliopsis</i> sp.	-	0,41	-	0,59	-	-	7	8
<i>Pertusaria leioplaca</i>	0,31	-	-	0,69	-	-	7	8
<i>Pertusaria</i> sp.	0,26	0,62	-	-	0,12	-	8	11
<i>Phaeophyscia</i> sp.	1	-	-	-	-	-	5	15
<i>Physcia</i> sp.	-	-	-	1	-	-	3	5
<i>Physconia</i> sp.	-	1	-	-	-	-	9	17
<i>Physconia</i> sp. 1	0,01	0,49	-	0,49	-	0,02	51	85
<i>Xanthoria</i> sp.	-	0,2	-	0,27	0,53	-	5	5
IPA_{sector}	0,218473	0,766068	0,000012	1,006883	0,067442	0,087019		
Riqueza	16	16	1	17	7	7		
pH	6,61	5,88	7,07	5,33	6,64	5,25		

3.2. Árboles muestreados

De los 71 árboles muestreados se identificó a las especies Ficus (*Ficus benjamina* L.), Coco (*Cocos nucifera* L.), Guaba (*Inga edulis* Mart.), cedro (*Cedrela odorata* L.), Flamboyán (*Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf.), Tamarindo (*Tamarindus indica* L.), Tomaque (*Prunus avium* (L.) L.), Nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) y Mango (*Mangifera indica* L.), de las cuales 44 presentaron especies liquénicas sobre sus cortezas.

En la Tabla 2 se muestra la cantidad de árboles muestreados en cada uno de los sectores, el valor en porcentaje de árboles con presencia de líquenes y el pH promedio para cada especie arbórea. Forofitos muestreados por sector y porcentaje con presencia de líquenes.

Tabla 2. Forofitos muestreados por sector y porcentaje con presencia de líquenes.

	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6	pH
<i>Tamarindus indica</i> L.	7	2	4	0	4	0	7,44
<i>Ficus benjamina</i> L.	4	0	0	0	0	0	6,75
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	1	0	0	1	0	0	6,73
<i>Cedrela odorata</i> L.	1	0	0	1	0	0	7,24
<i>Cocos nucifera</i> L.	2	0	1	1	0	0	6,62
<i>Mangifera indica</i> L.	1	0	1	0	1	0	7,00
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	8	7	2	11	5	3	5,41
<i>Inga edulis</i> Mart.	0	0	0	0	1	1	6,54
<i>Prunus avium</i> (L.) L.	0	0	0	0	1	0	5,25
árboles muestreados	24	9	8	14	12	4	
árboles con líquenes	16	8	1	11	5	3	
% árboles con líquenes	66,67	88,89	12,50	78,57	41,67	75,00	

La Figura 4 muestra la distribución de especies arbóreas que cumplieron con los requisitos para ser muestreados y que poseían líquenes sobre su corteza, además muestra el pH promedio por cada especie arbórea. La especie arbórea *Azadirachta indica* A. Juss. presentó mayor número de individuos muestreados con un promedio de pH de 5,41, y las especies arbóreas Flamboyán, Cedro y Guaba no

registraron especies liquénicas sobre sus cortezas y sus pH promedio fueron de 6,73, 7,24 y 6,54.

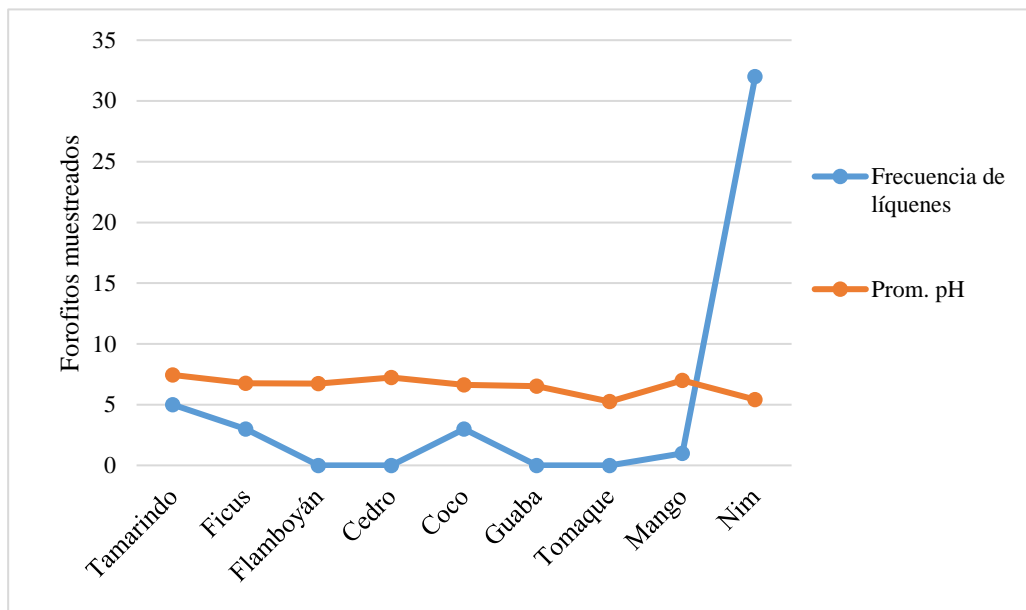


Figura 4. Distribución de líquenes y pH promedio según forofitos.

La distribución de líquenes en los forofitos, de acuerdo a la orientación, tuvo menor incidencia en el lado oeste (9%) seguido del lado norte y este con 16% y 18%, el lado sur presentó la mayor incidencia con un 57%. La figura 5 muestra esta distribución.

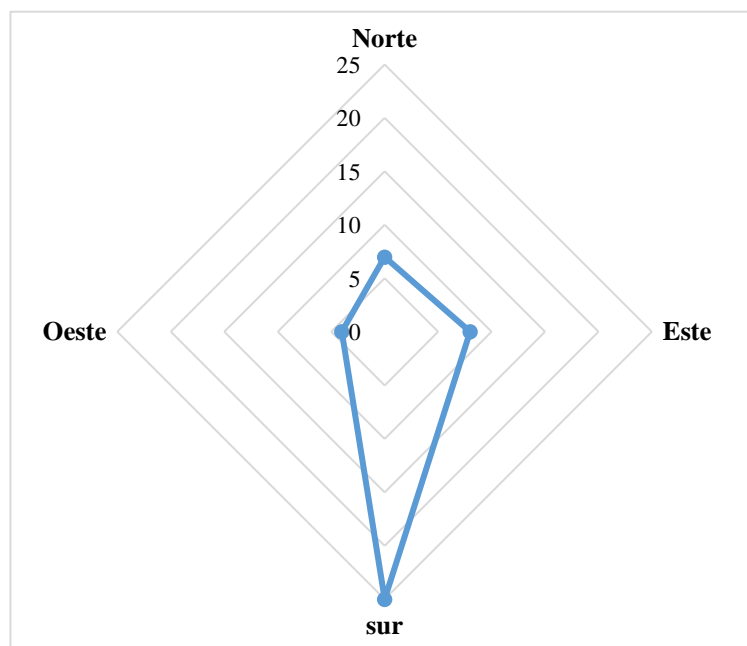


Figura 5. Frecuencia de orientación

3.3. Prueba de normalidad

La prueba de Kolmogórov-Smirnov para normalidad aplicada a los valores hallados en los seis sectores muestreados, mostró un p-valor menor a 0,05, lo cual muestra que la distribución de los valores no es normal. Por lo que los datos serán sometidos a pruebas estadísticas no paramétricas (Tabla 3).

Tabla 3. Normalidad de variables.

Variable	P - valor
IPA por árbol	0,000
pH	0,001
DAP	0,006
Cobertura por árbol	0,000
Riqueza por árbol	0,000
Forofito	0,000
Orientación	0,000

3.4. Correlación de Spearman

Se realizó una correlación de Spearman entre todas las variables por árbol, con un nivel de confianza del 99%. El IPA por árbol, la riqueza y cobertura liquénica por árbol, presentaron una fuerte correlación positiva entre ellos, que muestra su dependencia entre ambos. Sin embargo, con el pH su correlación es moderada e inversa lo cual muestra que si estas aumentan el pH disminuye y viceversa. Por otro lado, el DAP no presentó relación alguna con ninguna de las variables evaluadas.

Tabla 4. Correlación de variables.

	IPA árbol	Cobertura árbol	Riqueza árbol	pH	DAP
IPA árbol	1,000	0,988**	0,905**	-0,539**	-0,131
Cobertura árbol	0,988**	1,000	0,913**	-0,536**	-0,096
Riqueza árbol	0,905**	0,913**	1,000	-0,609**	-0,177
pH	-0,539**	-0,609**	-0,609**	1,000	0,160

** La correlación es significativa al 0.01

3.5. Análisis de clúster

Se realizó un análisis Clúster en base al factor de tolerancia (Qi) (Tabla 5) para determinar las especies más sensibles y tolerantes a la contaminación.

Tabla 5. Factor Qi de las especies líquénicas identificadas.

Especies	Qi	Especies	Qi
<i>Acarospora placodiiformis</i>	3,110	<i>Opegrapha</i> sp	4,000
<i>Acarospora</i> sp	1,750	<i>Parmelia caperata</i>	3,700
<i>Arthonia</i> sp	1,000	<i>Parmelia soledians</i>	3,750
<i>Arthonia</i> sp1	5,330	<i>Parmeliopsis</i> sp	6,500
<i>Arthonia</i> sp2	3,000	<i>Pertusaria leioplaca</i>	4,500
<i>Candelaria concolor</i>	4,727	<i>Pertusaria</i> sp	4,000
<i>Diploicia canescens</i>	3,957	<i>Phaeophyscia</i> sp	2,000
<i>Lecanora</i> sp	3,400	<i>Physcia</i> sp	3,330
<i>Lecanora</i> sp1	6,330	<i>Physconia</i> sp	6,500
<i>Lecidella elaeochroma</i>	4,143	<i>Physconia</i> sp1	3,727
<i>Lepraria</i> sp	4,364	<i>Xanthoria</i> sp	5,750
<i>Opegrapha atra</i>	4,500		

La Figura 6 muestra los tres grupos formados de acuerdo a la tolerancia y sensibilidad. El grupo 1 representa a las “especies tolerantes a la contaminación”, siendo estas especies las que se encontraron en cinco de los seis sectores muestreados, el grupo 2 representa a las “especies con tolerancia media a la contaminación” y el grupo 3 a las “especies sensible a la contaminación” ya que estas especies fueron halladas en menor cantidad y se situaron en la parte alta, a los límites de la ciudad.

Se utilizó el método de Ward y el intervalo de Distancia euclídea cuadrado, el dendrograma obtenido se muestra en la Figura 6.

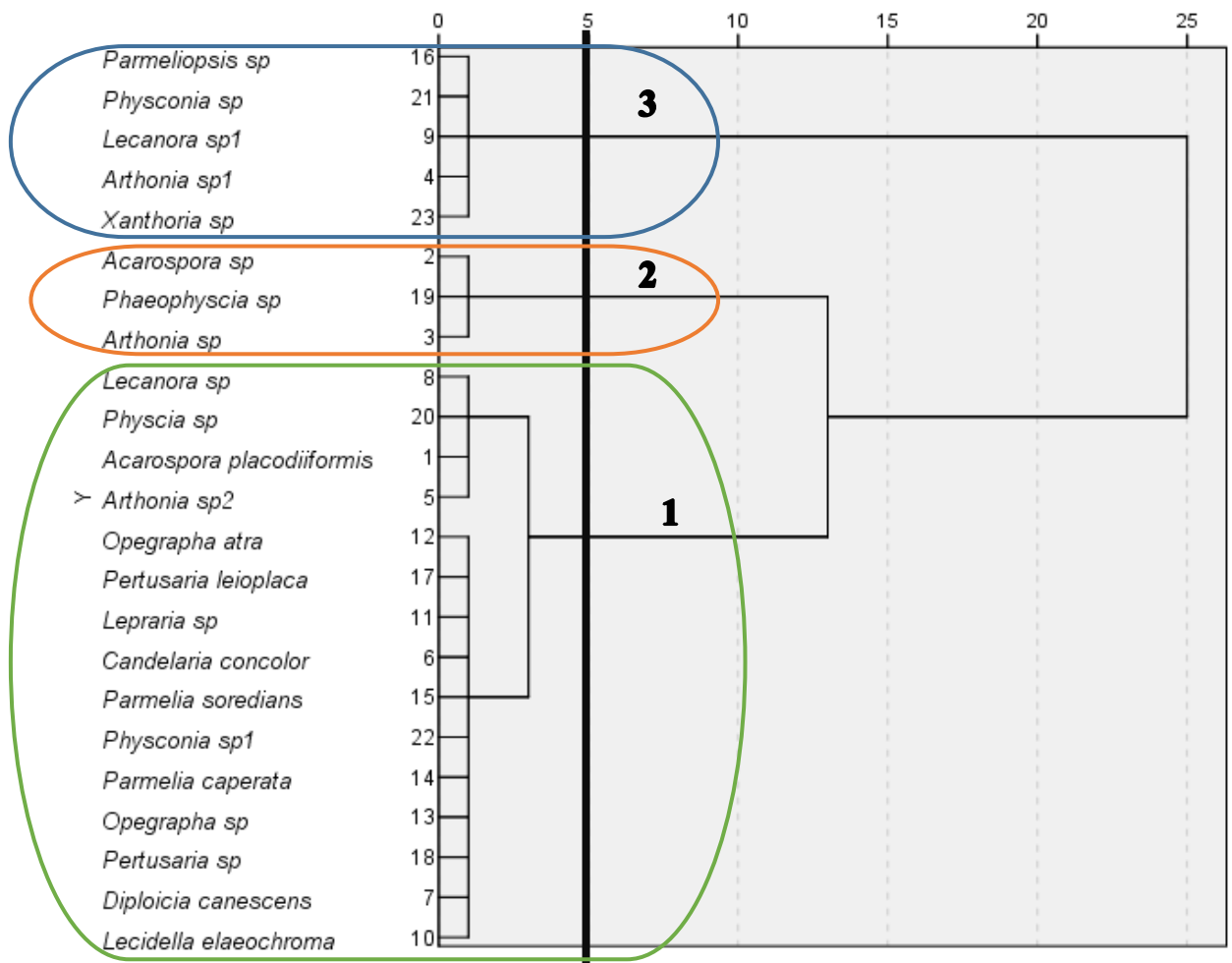


Figura 6. Dendrograma resultante de clúster.

3.6. Prueba de Kruskal-Wallis

La prueba de Kruskal-Wallis demuestra que las variables presentan comportamientos significativamente diferentes según sectores, con excepción del DAP, el cual no muestra un comportamiento diferente. En todos los casos se consideró un P-valor <0,05 (Tabla 6).

Tabla 6. Comportamiento de las variables según sector.

Variable	P – valor
IPA por árbol	0,007
pH	0,000
DAP	0,690
Cobertura por árbol	0,004
Riqueza por árbol	0,001
Forofito	0,033
Orientación	0,026

Con excepción del DAP y el transecto, todas las variables presentan comportamiento diferente según el forofito (Tabla 7).

Tabla 7. Comportamiento de las variables según forofito.

Variable	P – valor
IPA por árbol	0,000
pH	0,000
DAP	0,534
Cobertura por árbol	0,000
Riqueza por árbol	0,000
Transecto(V/H)	0,326
Orientación	0,001

3.7. Mapa de isocontaminación

En base a la similitud de los valores del IPA árbol se elaboró el mapa de isocontaminación de la ciudad de Bagua Grande, obteniendo tres niveles de contaminación, contaminación máxima, contaminación moderada y contaminación baja (Figura 7)

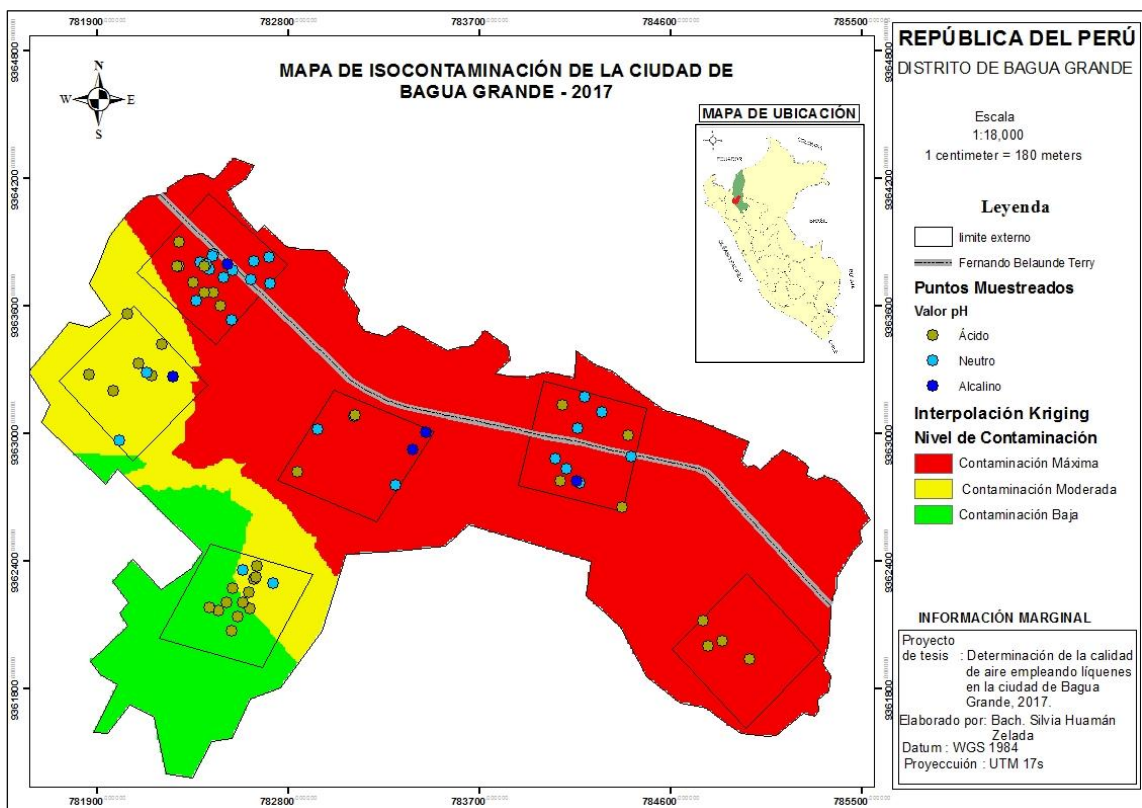


Figura 7. Mapa de isocontaminación de la ciudad de Bagua Grande.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del IPA en los sectores, muestran que el valor más bajo se registró en el sector 3, siendo este quien presentó menor cantidad de riqueza de especies y cobertura líquénica, estos valores pueden atribuirse a que este sector tiene mayor flujo vehicular. Estos resultados concuerdan con otros estudios donde estos relacionan los valores bajos de IPA con la ubicación de la zona, grado de intervención humana, tránsito vehicular y zonas industriales (Anze et al., 2007; Samsudin, Din, Zakaria, Latip, Lihan, Jemain, & Samsudin, (2012); Ochoa-Jiménez, et al., 2015; Mendoza, 2018). Otros estudios han reportan que los principales contaminantes emitidos por el tráfico vehicular son los óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), Ozono (O_3) y dióxido de azufre (SO_2), los cuales tienen efectos negativos sobre las características morfológicas, fisiológicas y en la diversidad de líquenes (Giordani, 2007; Llop et al., 2012; Rubiano, 1988).

Los valores del IPA por árbol mostraron una fuerte correlación positiva con la riqueza y cobertura líquénica (Tabla 4), indicando así la influencia de estas en el valor obtenido del IPA, sin embargo, con el pH mostró una correlación moderada inversa, lo cual muestra que al aumentar el pH los valores de diversidad líquénica disminuyen (Llop et al., 2012). El mapa de isocontaminación (Figura 7) muestra este comportamiento del IPA según el pH de los forofitos. La mayor cantidad de árboles muestreados que presentaron valores de pH neutros y alcalinos se encontraron cerca de la carretera Fernando Belaúnde Terry que atraviesa la ciudad, esto se debe a los ya conocidos gases NO_2 y SO_2 , emitidos por el tráfico (USEPA, 1991; Manninen, 2018). Algunos estudios han sugerido que el aumento del pH se debe principalmente a partículas de polvo y/o NH_3 atmosférico (Fрати et al., 2006) los cuales contribuyen a la baja calidad atmosférica.

De las especies tolerantes encontradas en esta investigación, algunas han sido reportadas en otros estudios. Como el caso de Gonzales et al. (2016), en su estudio en Cochabamba identificó a *Candelaria concolor* y género *Physcia* como especies tolerantes a la contaminación; Agnan et al. (2017), identificó entre otras especies a *Pertusaria leioplaca* como especie resistente a contaminación por metales; Hawksworth & Weng (1990), encontraron que la especie más tolerante fue una especie del género *Lepraria*. Por otro lado, *Diploicia canescens* fue la especie que mayor frecuencia y

abundancia presentó en esta investigación, caso parecido a lo encontrado en Sines – Portugal (Llop et.al., 2012), donde junto a otras especies fueron las especies más abundante en los árboles de los parques de la ciudad, en este mismo estudio se registró a *Lecidella elaeochroma*, la segunda de las especies que presentó mayor frecuencia y abundancia en la ciudad de Bagua Grande, sin embargo, en el estudio de Sines – Portugal, no presentó preferencia por ningún área específica (tráfico, casas y áreas verdes) sin embargo, a pesar de no ser abundante, estuvo presente en todas las áreas consideradas, tal como en la ciudad de Bagua Grande, en donde según su Qi se considera una especie tolerante a la contaminación. Las especies altamente sensibles solo se identificaron hasta el nivel de género, por lo que, no se encontró información puntual con la cual corroborar los hallazgos de la investigación, pero se pudo obtener trabajos donde reportaban especies del mismo género y que presentaron comportamiento similar. Tal es el caso de *Parmeliopsis ambigua*, la cual solo fue encontrada en un punto de muestreo con una frecuencia muy baja, en un estudio realizado en Francia (Agnan et al., 2017).

La frecuencia de orientación, se observó mayormente en el lado sur del forofito, esto podría atribuirse a las condiciones que este lado ofrece en el hemisferio sur, como la menor exposición al sol durante el día, conservando mayor humedad, lo cual favorece el crecimiento de los líquenes (Lijteroff et.al., 2009; Riquelme, 2008), además, en la zona de estudio la dirección del viento predominante es de norte a sur, por lo que este lado presenta menor contaminación ambiental transportada por el viento (Méndez-estrada & Campos, 2015).

De los árboles muestreados, solo el 62 % presentó líquenes sobre su corteza. En el sector 3 se analizaron 8 árboles de los cuales solo el 12.5% presentó líquenes (1 especie). Situación similar encontró Lijteroff et. al., (2009) en San Luis – Argentina, donde, de 28 forofitos muestreados solo uno presentó líquenes sobre su corteza, por lo que lo consideró como una evidente tendencia hacia el llamado “desierto de líquenes”.

Observando los resultados obtenidos en el análisis estadístico Kruskal – Wallis, los datos del IPA por árbol muestran que las diferencias entre los índices de cada sector son estadísticamente significativas, lo que muestra una distribución heterogénea de la contaminación dentro de la ciudad. Los valores del IPA_{sector} mostraron un patrón similar respecto a la riqueza de especies, presentando los valores más altos (baja

contaminación) en el sector 2 y 4, seguido de los sectores 1 y 6 (moderada contaminación). Los sectores 3 y 5 presentaron los valores más bajos, mostrando así la alta contaminación de los sectores, como se muestra en el mapa de isocontaminación de la ciudad. El coeficiente de correlación de Spearman entre el IPA_{sector} y la riqueza de especies reveló un panorama más claro de la similitud de estos, indicando un p-valor menor a 0,05, lo cual indica que hay suficiente evidencia estadística para afirmar que la riqueza de especies está relacionada significativamente con el valor del IPA_{sector} , e indicando una fuerte correlación positiva ($r = 0,971$). Mendoza (2018), obtuvo resultados similares en cuanto a la distribución de la contaminación en los sectores evaluados, siendo los más contaminados, aquellos que presentaban mayor flujo vehicular, material particulado entre otros; características similares atribuidas a los bajos valores del IPA en la ciudad de Bagua Grande.

V. CONCLUSIONES

- Los valores del IPA evidencian diferencias altamente significativas entre los sectores ($P = 0,007$), con lo cual se observó la heterogeneidad de la contaminación en la ciudad.
- Se identificó 23 individuos liquénicos, de los cuales 8 se hizo hasta especie y 15 hasta género.
- El mapa de isocontaminación muestra que la mayor contaminación se distribuye a lo largo de la carretera Fernando Belaunde Terry, lo cual es atribuido al constante flujo vehicular que presenta.
- La mayor frecuencia, abundancia y cobertura de líquenes estuvo representada por las especies *Diploicia canescens* y *Lecidella elaeochroma* y un factor Qi de 3,957 y 4,143.
- El DAP es una variable que no influye significativamente al momento de determinar el valor del IPA.

VI. RECOMENDACIONES

- La municipalidad provincial de Utcubamba, investigadores científicos y/o entidades involucradas en el tema ambiental, deberían tomar esta investigación como referencia para futuros estudios de calidad del aire en la ciudad de Bagua Grande.
- La municipalidad provincial de Utcubamba debería monitorear anualmente la calidad de aire siguiendo esta metodología, así como también establecer la importancia de cuidar las estaciones evitando que los árboles sean maltratados.
- La Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) e investigadores científicos, deberían identificar los sectores que presentan mayor cantidad de enfermedades respiratorias y correlacionar con los lugares de mayor contaminación aquí hallados, para determinar cuánto impacto están generando estos contaminantes en la salud de la población.
- La municipalidad provincial de Utcubamba, investigadores científicos y/o entidades involucradas en el tema ambiental, en futuras investigaciones deberían determinar la proporcionalidad entre los niveles de contaminación y la distancia desde la fuente de contaminación (carretera Fernando Belaunde Terry y puntos con alto tráfico vehicular aquí identificados).

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agnan, Y., Probst, A., & Séjalon-Delmas, N. (2017). Evaluation of lichen species resistance to atmospheric metal pollution by coupling diversity and bioaccumulation approaches: A new bioindication scale for French forested areas. *Ecological Indicators*, 72, 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.006>
- Atilgan, B., & Azapagic, A. (2015). Life cycle environmental impacts of electricity from fossil fuels in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 106, 555–564. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.046>
- Baltanás, R. (2000). Empleo de bioindicadores en estudios de evaluación de la calidad ambiental. Retrieved from <http://www.uco.es/congresos/apoidea/pdf/conferencia-empleo-bioindicadores.pdf>
- Bedregal, P., Mendoza, P., Ubillús, M., Torres, B., Hurtado, J., Maza, I., & Espinoza, R. (2009). El uso de *Usnea* sp. y *Tillandsia capillaris* como biomonitores de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima, Perú. *Soc Quím Perú-Scielo*, 4(4), 479–487. Retrieved from <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v75n4/a10v75n4.pdf%5Cnfile:///C:/Users/alumno.15/Desktop/a10v75n4.pdf>
- Canseco, Á., Anze, R., Franken, M., Zaballa, M., Pinto, M., Zeballos, G., ... Del Granado, S. (2007). Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. *Redesma*.
- Carrera, M., & Carreras, H. (2011). Efectos de la aplicación de glifosato sobre parámetros químico-fisiológicos en *Usnea amblyoclada* (Müll. arg.) Zahlbr. *Ecologia Austral*, 21(3), 353–361.
- Chen, J., Shi, H., Sivakumar, B., & Peart, M. (2016). Population, water, food, energy and dams. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.043>
- Cortes, C., Cardona, D., Segura, A. M., & Garzón, M. O. (2016). Factores físicos y mentales asociados con la capacidad funcional del adulto mayor, Departamento de Antioquia, 2012. *Revista de Salud Pública*, 18(2), &165–178. <https://doi.org/10.15446/rsap.v18n2.47209>
- Costa, L., Cole, T., Coburn, J., Chang, Y., Dao, K., & Roqué, P. J. (2017).

- Neurotoxicity of traffic-related air pollution. *NeuroToxicology*, 59, 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2015.11.008>
- Estévez, J., Montero, A., López, D., Pupo, I., Hernández, D., Pérez, O., ... Wolterbeek, B. (2011). Biomonitorio de la contaminación atmosférica en La Habana durante la campaña 2004-2005. *Nucleus*, 50, 18–23.
- Fрати, L., Caprasecca, E., Santoni, S., Gaggi, G., Guttova, A., Gaudino, S., ... Loppi, S. (2006). Effects of NO₂ and NH₃ from road traffic on epiphytic lichens. *Environmental Pollution*, 142, 58–64.
- Gatica, A., Pereira, Í., & Vallejos, O. (2011). Líquenes epífitos: una herramienta para estudiar la continuidad ecológica en Isla Mocha, Chile. *Gayana. Botánica*, 68(2), 226–235. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432011000200014>
- Giordani, P. (2007). Is the diversity of epiphytic lichens a reliable indicator of air pollution? A case study from Italy. *Environmental Pollution*, 146(2), 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.030>
- Gómez, H., Fernández, R., Benzo, Z., Galarraga, F., Hernández, J., & Roschman-González, A. (2013). Líquenes como biomonitores de la contaminación atmosférica por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) - Revisión. *Revista de La Facultad de Ingeniería*, 28(1), 45–58.
- Gómez, H., Del Valle, R., Galarraga, F., Hernández, J., Roschman-González, A., & Escalona, A. (2013). Biomonitorio activo de hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire del valle de caracas-venezuela empleando el liquen *Parmotrema sancti-angelii* (Lynge) Hale. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 29(4), 261–267.
- Gonzales, N., Luján, M., Navarro, G., & Flores, R. (2016). Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como herramienta de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cochabamba. *Acta Nova*, 7(4), 455–482.
- Hawksworth, D., Iturriaga, T., & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22(2), 71–82. [https://doi.org/10.1016/S1130-1406\(05\)70013-9](https://doi.org/10.1016/S1130-1406(05)70013-9)

- Hawksworth, D., & Weng, Y. (1990). Lichens on camphor trees along an air pollution gradient in Hangzhou (Zhejiang Province). *Forest Research, Chinese Academy of Forestry*, 3, 514–517.
- Jiang, X., & Guan, D. (2017). The global CO₂ emissions growth after international crisis and the role of international trade. *Energy Policy*, 109(July), 734–746. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.058>
- Kricke, R., & Loppi, S. (2002). Bioindication: the I.P.A. approach. En: Líquenes como Bioindicadores de Contaminación Atmosférica en Montevideo - Uruguay (Darré, E., 2011). *Tesis de Maestría*, 21–37.
- Lijteroff, R., Lima, L., & Prieri, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 25(2), 111–120.
- Llop, E., Pinho, P., Matos, P., Pereira, M. J., & Branquinho, C. (2012). The use of lichen functional groups as indicators of air quality in a Mediterranean urban environment. *Ecological Indicators*, 13(1), 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.005>
- Loppi, S., & Pirintsos, A. (2003). Epiphytic lichens as sentinels for heavy metal pollution at forest ecosystems (central Italy). *Environmental Pollution*, 327–332.
- Manninen, S. (2018). Deriving nitrogen critical levels and loads based on the responses of acidophytic lichen communities on boreal urban *Pinus sylvestris* trunks. *Science of the Total Environment*, 613–614, 751–762. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.150>
- Méndez-estrada, V., & Campos, C. (2015). Cobertura de líquenes arborícolas y su relación con la orientación cardinal en parques municipales de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica, 7(2), 313–317.
- Mendoza, J. (2018). *Evaluación de la calidad del aire empleando líquenes como indicadores en la ciudad de Chachapoyas, 2017*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - Amazonas.
- MINAM. (2011). Estado del Ambiente 2009-2011. *Ministerio Del Ambiente*.
- MINAM. (2014). Informe nacional de la calidad del aire 2013-2014. *Ministerio Del*

Ambiente.

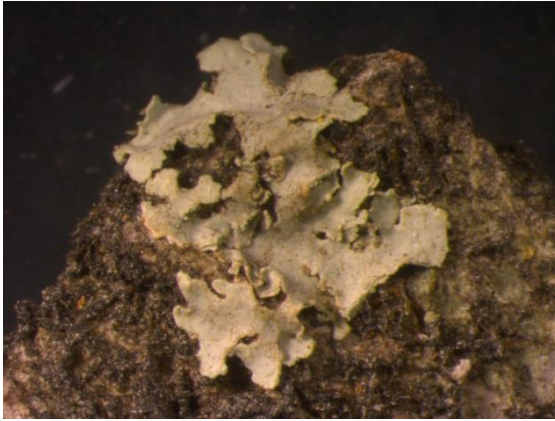
- Monges, C. (2018). Líquenes, bioindicadores de contaminación por excelencia. Retrieved from file:///E:/TESIS - LÍQUENES/sh/Líquenes, bioindicadores de contaminación por excelencia.html
- Moreno, E., Sánchez, A., & Hernández, J. (2007). Guía ilustrada de hongos liquenizados de Venezuela. *Fundación Instituto Botánico de Venezuela, Caracas*.
- Neurohr, E., Monge-Nájera, J., & Méndez-Estrada, V. H. (2013). Use of a Geographic Information System and lichens to map air pollution in a tropical city: San José, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol)*, 61(2), 557–563.
- Núñez-Zapata, J., Divakar, P., Huallparimachi, G., Holgado, M., Vela, Z., Pavlich, M., & Crespo, A. (2015). Nuevos registros de la liquenobiota del Santuario Histórico de Machu Picchu, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 22(December), 323–328.
- Ochoa-Jiménez, D., Cueva-Agila, A., Prieto, M., Aragón, G., & Benitez, Á. (2015). Cambios en la composición de líquenes epífitos relacionados con la calidad del aire en la ciudad de Loja (Ecuador). *Scielo*, 37(2), 333–343.
- OMS. (2016). La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud. Ginebra. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/air-pollution-estimates/es/>
- Pahlavani, P., Sheikhan, H., & Bigdeli, B. (2017). Assessment of an air pollution monitoring network to generate urban air pollution maps using Shannon information index, fuzzy overlay, and Dempster-Shafer theory, A case study: Tehran, Iran. *Atmospheric Environment*, 167, 254–269. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.039>
- Pappas, D., & Chalvatzis, K. J. (2017). Energy and Industrial Growth in India: The Next Emissions Superpower? *Energy Procedia*, 105, 3656–3662. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.842>
- Quispe, K., Ñique, M., & Chuquillín, E. (2013). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú. *Investigación y Amazonía*, 99-104.
- Riquelme, F. S. (2008). Evaluación del uso de líquenes como indicadores biológicos de

contaminación atmosférica en la quebrada de La Plata, Región *Metropolitana*.
Universidad de Chile.

- Rubiano, L. J. (1988). Líquenes como indicadores de contaminación en el complejo industrial de Betania y la termoeléctrica de Zipaquirá, Cundinamarca. *Acta Biológica Colombiana*, *1*(4), 95–125.
- Rubiano, L. J., & Chaparro, M. (2006). Delimitación de áreas de Isocontaminación Atmosférica en el campus de la Universidad Nacional de Colombia mediante el análisis de bioindicadores (Líquenes Epifitos). *Acta Biologica Colombiana*, *11*(1970), 82–102.
- Shen, J., Wei, Y. D., & Yang, Z. (2017). The impact of environmental regulations on the location of pollution-intensive industries in China. *Journal of Cleaner Production*, *148*, 785–794. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.050>
- Simijaca, D. F., Morales, M. E., & Vargas, D. L. (2014). Use of Non Vascular Plant Organisms as Indicators of Urban Air Pollution (Tunja, Boyacá, Colombiano). *Acta Biológica Colombiana*, *19*(2), 221. <https://doi.org/10.15446/abc.v19n2.40681>
- USEPA. (1991). The Clean Air Act - National Ambient Air Quality Standards: Criteria Pollutants. *United States Environmental Protection Agency*.
- Van, B., Moll, H. C., & Dirks, J. (2000). Environmental impact of scrapping old cars. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *5*(2), 137–143. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(99\)00030-9](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(99)00030-9)
- Zhang, S., Worrell, E., & Crijns-Graus, W. (2015). Cutting air pollution by improving energy efficiency of China's cement industry. *Energy Procedia*, *83*, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.191>
- Zhi, L., Chen, H., Hao, Y., Wang, J., Song, X., & Mok, T. M. (2017). The dynamic relationship between environmental pollution, economic development and public health: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, *166*, 134–147. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.010>
- Zilio, L., Hammond, H., & Castro, A. S. (2017). Levantamiento planimétrico y análisis liquenométrico en el sitio campo de Chenques , costa norte de Santa Cruz (Patagonia Argentina). *Scielo*, *1917*(1900).

ANEXOS

Anexo 1. Especies liquénicas identificadas en la ciudad de Bagua Grande



Acarospora placodiiformis



Acarospora sp.



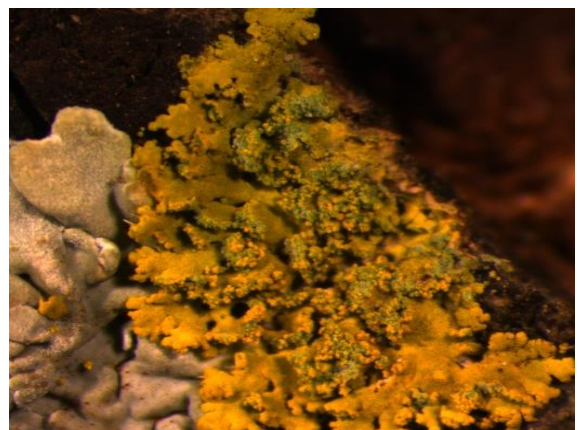
Arthonia sp.



Arthonia sp. 1



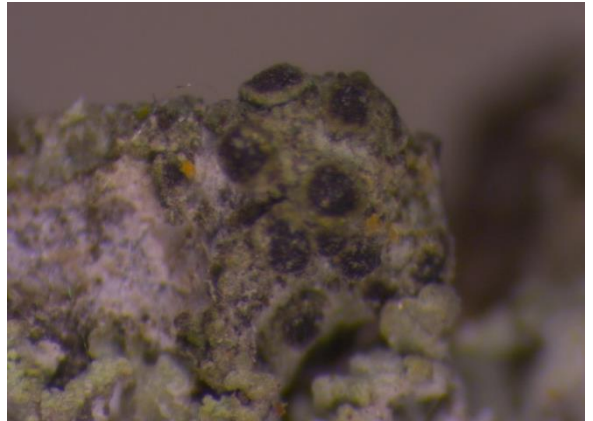
Arthonia sp. 2



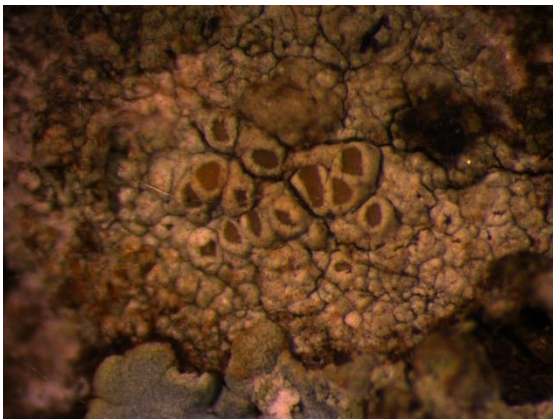
Candelaria concolor



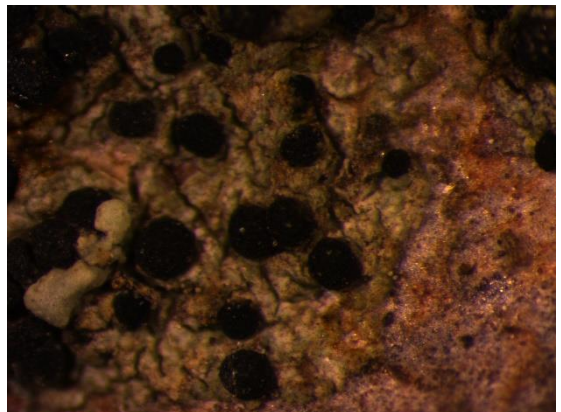
Diploicia canescens



Lecanora sp.



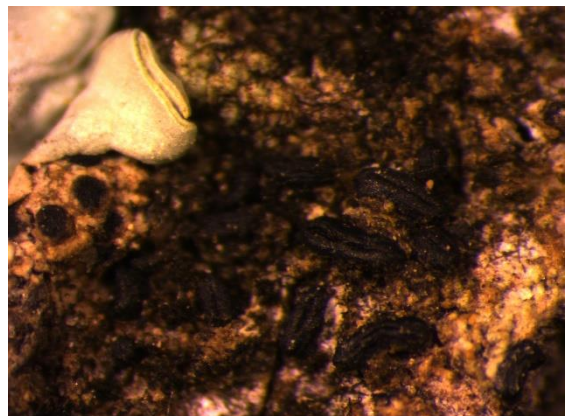
Lecanora sp. 1



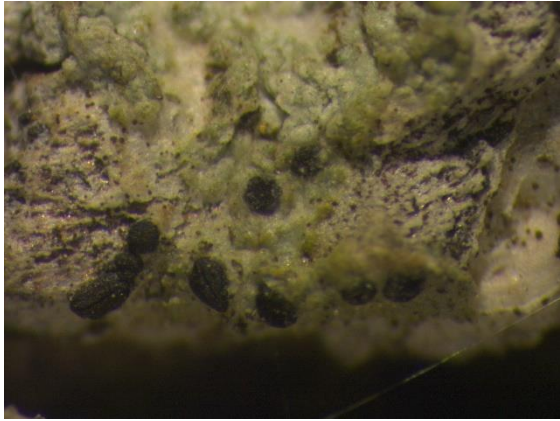
Lecidella elaeochroma



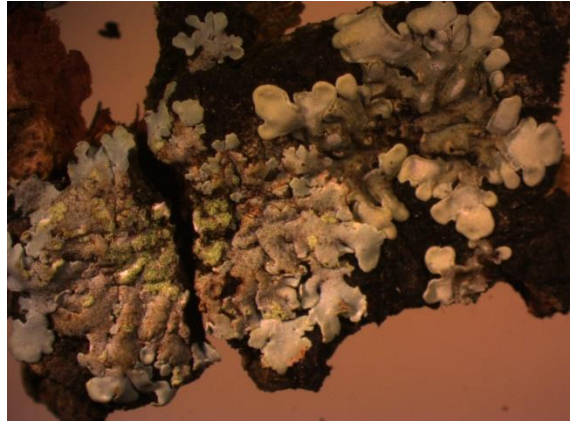
Lepraria sp.



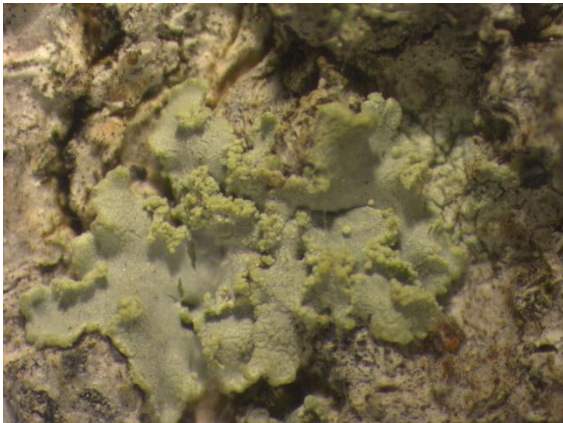
Opegrapha atra



Opegrapha sp.



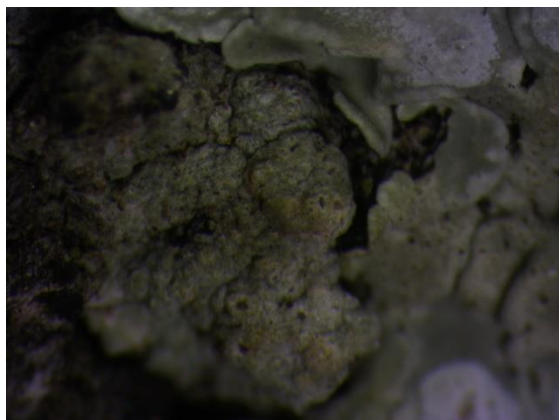
Parmelia caperata



Parmelia sooredians



Parmeliopsis sp.



Pertusaria leioplaca



Pertusaria sp.



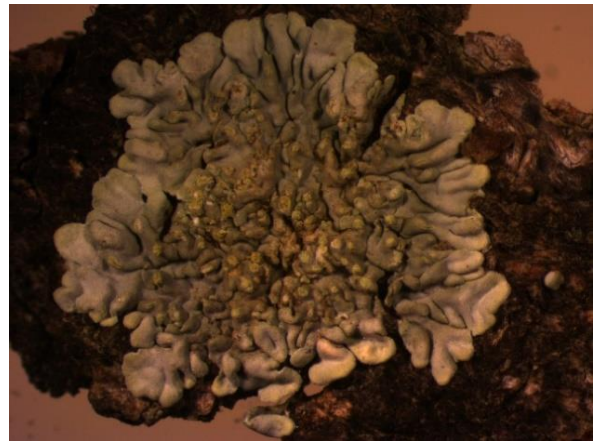
Phaeophyscia sp.



Physcia sp.



Physconia sp.



Physconia sp. 1



Xanthoria sp.

Anexo 2. Formato de recolección de datos de campo

Proyecto: Determinación de la calidad del aire empleando líquenes en la ciudad de Bagua Grande, provincia de Utcubamba, Región Amazonas, 2017

Sector y Transecto: Fecha: Orientación: E () O () N () S () Punto:

Gradilla con Sp		Forofito	Diámetro Per/3.1416	Especies	Cobertura (cm ²)	Abundancia	Frecuencia
1	11						
2	12						
3	13						
4	14						
5	15						
6	16						
7	17						
8	18						
9	19						
10	20						

Sector y Transecto: Fecha: Orientación: E () O () N () S () Punto:

Gradilla con Sp		Forofito	Diámetro Per/3.1416	Especies	Cobertura (cm ²)	Abundancia	Frecuencia
1	11						
2	12						
3	13						
4	14						
5	15						
6	16						
7	17						
8	18						
9	19						
10	20						


Anexo 3. Constancia de identificación de líquenes.

CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA

El que suscribe Henry Paolo Villegas Ogoña de profesión Biólogo CBP N° 9847, hago constar que la tesista de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A), Srta. **Silvia Huamán Zelada**, identificadas con DNI N° 46586895, solicitó el servicio de Determinación de muestras de líquenes, las cuales son alrededor de 60 especímenes, las cuales se encontraban adecuadamente acondicionados y codificados para realizar un trabajo preciso.

Revisadas las características de cada muestra, se determinaron los siguientes géneros y especies afines: *Acarospora placodiiformis*, *Acarospora sp*, *Arthonia sp*, *Arthonia sp1*, *Arthonia sp2*, *Candelaria concolor*, *Diploicia canescens*, *Lecanora sp*, *Lecanora sp1*, *Lecidella elaeochroma*, *Lepraria sp*, *Opegrapha atra*, *Opegrapha sp*, *Parmelia caperata*, *Parmelia soledians*, *Parmeliopsis sp*, *Pertusaria leioplaca*, *Pertusaria sp*, *Phaeophyscia sp*, *Physcia sp*, *Physconia sp*, *Physconia sp1*, *Xanthoria sp*.

Se expide a solicitud del interesado, para efectos de investigación científica, a 25 días de Julio de 2018



Blgo. Henry Paolo Villegas Ogoña

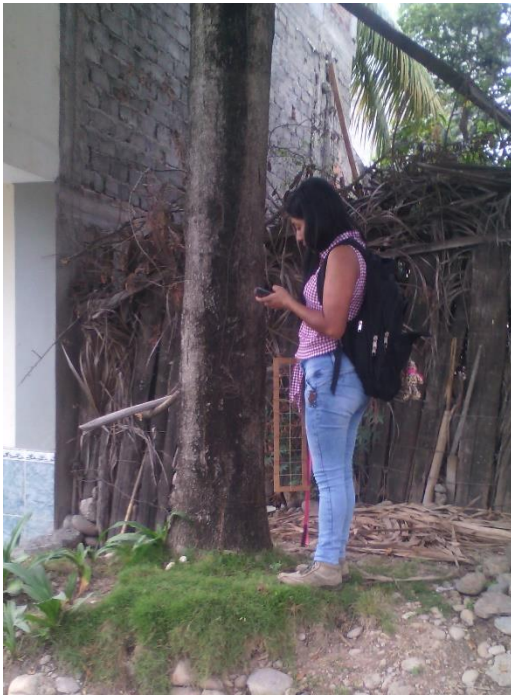
Anexo 4. Puntos muestreados en la ciudad de Bagua Grande.

Punto	Coor_X	Coor_Y	Sector	pH	Transecto	Orientación	Forofito	DAP
P01	782712	9363825	1	7.52	Vertical	Norte	Tamarindo	34.38
P02	782640	9363809	1	7.14	Horizontal	-	Ficus	38.20
P03	782716	9363704	1	6.78	Vertical	Este	Ficus	22.28
P04	782626	9363724	1	7.51	Horizontal	-	Flamboyán	25.46
P05	782540	9363766	1	7.19	Horizontal	-	Cedro	26.74
P06	782515	9363792	1	8.07	Horizontal	-	Tamarindo	23.55
P07	782450	9363841	1	7.34	Vertical	-	Tamarindo	35.01
P08	782443	9363831	1	6.95	Vertical	Norte	Coco	26.74
P09	782288	9363898	1	6.30	Horizontal	Oeste	Coco	22.92
P10	782405	9363795	1	6.24	Horizontal	sur	Ficus	21.96
P11	782390	9363801	1	6.84	Horizontal	sur	Ficus	22.92
P12	782419	9363785	1	7.35	Horizontal	sur	Tamarindo	26.10
P13	782433	9363771	1	7.34	Horizontal	sur	Tamarindo	28.65
P14	782419	9363792	1	7.32	Vertical	-	Tamarindo	23.55
P15	782497	9363729	1	6.90	Vertical	Norte	Mango	26.10
P16	782537	9363531	1	7.37	Horizontal	-	Tamarindo	34.06
P17	782483	9363596	1	5.90	Horizontal	Sur	Nim	31.83
P18	782451	9363662	1	5.41	Vertical	Este	Nim	27.06
P19	782409	9363661	1	5.96	Horizontal	Sur	Nim	31.51
P20	782354	9363706	1	5.32	Horizontal	sur	Nim	42.97
P21	782405	9363783	1	5.07	Vertical	Norte	Nim	23.24
P22	782289	9363783	1	5.86	Horizontal	-	Nim	31.51
P23	782288	9363784	1	5.91	Horizontal	Oeste	Nim	29.28
P24	782277	9363783	1	5.17	Horizontal	Sur	Nim	32.47
P25	782208	9363417	2	5.42	Horizontal	Norte	Nim	28.97
P26	782045	9363560	2	5.01	Vertical	Sur	Nim	22.92
P27	782262	9363267	2	7.65	Horizontal	-	Tamarindo	54.11
P28	782159	9363268	2	4.69	Horizontal	Sur	Nim	33.10
P29	782137	9363285	2	6.94	Horizontal	Sur	Tamarindo	35.97
P30	782096	9363325	2	5.31	Vertical	Este	Nim	26.10
P31	781979	9363199	2	5.67	Vertical	Este	Nim	39.15
P32	782009	9362963	2	7.01	Vertical	Oeste	Nim	23.55
P33	781864	9363272	2	5.25	Horizontal	Este	Nim	35.01
P34	782370	9363622	3	7.02	Horizontal	-	Tamarindo	26.10
P35	782939	9363018	3	6.97	Horizontal	-	Coco	32.47
P36	782844	9362817	3	6.22	Horizontal	Este	Nim	22.60
P37	783110	9363079	3	6.83	Vertical	-	Mango	26.42
P38	783116	9363083	3	6.30	Vertical	-	Nim	23.55
P39	783451	9363003	3	8.09	Horizontal	-	Tamarindo	40.11
P40	783387	9362924	3	7.67	Horizontal	-	Tamarindo	41.38
P41	783305	9362757	3	7.48	Horizontal	-	Tamarindo	30.24
P42	782535	9362071	4	4.63	Vertical	Sur	Nim	25.78

P43	782566	9362138	4	4.71	Horizontal	Sur	Nim	23.55
P44	782620	9362177	4	4.65	Vertical	Norte	Nim	22.92
P45	782587	9362203	4	4.96	Vertical	Sur	Nim	31.19
P46	782616	9362253	4	4.57	Horizontal	Sur	Nim	23.55
P47	782639	9362315	4	6.26	Horizontal	Sur	Coco	26.10
P48	782651	9362324	4	5.95	Horizontal	-	Flamboyán	28.33
P49	782654	9362373	4	4.86	Horizontal	Sur	Nim	28.01
P50	782589	9362357	4	7.30	Horizontal	-	Cedro	23.87
P51	782541	9362272	4	5.09	Horizontal	Sur	Nim	23.87
P52	782512	9362204	4	4.97	Horizontal	Sur	Nim	23.87
P53	782473	9362163	4	4.60	Horizontal	-	Nim	32.47
P54	782430	9362181	4	4.95	Vertical	Sur	Nim	38.20
P55	782733	9362296	4	7.09	Vertical	Este	Nim	28.65
P56	784094	9363133	5	6.56	Vertical	-	Guaba	23.55
P57	784165	9363024	5	6.74	Vertical	-	Nim	37.88
P58	784198	9363170	5	6.85	Vertical	Sur	Nim	22.28
P59	784278	9363096	5	7.01	Vertical	Norte	Nim	29.28
P60	784403	9362990	5	5.25	Horizontal	-	Tomaque	31.83
P61	784418	9362891	5	7.28	Horizontal	-	Mango	31.51
P62	784059	9362878	5	7.14	Horizontal	Oeste	Tamarindo	36.92
P63	784112	9362832	5	7.44	Vertical	-	Tamarindo	26.74
P64	784081	9362775	5	5.42	Vertical	Sur	Nim	23.55
P65	784172	9362765	5	6.93	Vertical	-	Tamarindo	23.55
P66	784159	9362773	5	7.85	Vertical	-	Tamarindo	26.10
P67	784372	9362649	5	5.21	Vertical	Sur	Nim	31.51
P68	784778	9362000	6	4.82	Horizontal	Sur	Nim	22.60
P69	784753	9362117	6	6.51	Vertical	-	Flamboyán	32.47
P70	784846	9362023	6	4.29	Vertical	Sur	Nim	27.37
P71	784971	9361937	6	5.36	Horizontal	Este	Nim	27.69

(-): Sin presencia de especies liquénicas en ningún lado del árbol.

Anexo 5. Panel fotográfico.



Toma de la posición geográfica del punto muestreado.



Medición del DAP del punto muestreado.



Levantamiento de información del punto muestreado.



Toma de fotos al estereoscopio de las muestras líquénicas recogidas.



Pesado de 1gr de corteza (por triplicado) de cada una de las especies arbóreas muestreadas.



Frascos de vidrio con las muestras preparadas para llevar a la estufa.



Muestras de cortezas arbóreas en la estufa por 1 hora a 80°C.



Medición del pH de las cortezas de los árboles muestreados en el estudio.