

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EMPLEANDO LA
ESPECIE “*Morus alba*” COMO BIOINDICADOR DE
CONTAMINACIÓN POR MATERIAL PARTICULADO PM10 EN
LOS DISTRITOS DE PAUCARPATA, UCHUMAYO Y YURA,
AREQUIPA - 2018”**

Tesis presentada por el bachiller
Sucla López, Mauricio Alexander
Para optar el Título Profesional de:
Ingeniero Ambiental

Asesor:

Dr. Arenazas Rodríguez, Armando J.

**Arequipa – Perú
2019**



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
INFORME DICTAMEN BORRADOR DE TESIS

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

Evaluación de la calidad del aire empleando la especie "Houou alba" como bioindicador de contaminación por material particulado PM10 en los distritos de Paucarpata, Uchumayo y Yulo, Arequipa 2018

Presentado por el (los) Bachiller (es):

Suella López, Mauricio Alexander

Nuestro DICTAMEN es:

Favorable

OBSERVACIONES:

Arequipa, 09 de Diciembre del 2019

[Signature]
DICTAMINADOR
Pr. Bto. Armando Brenozos Rodríguez

[Signature]
DICTAMINADOR
M.Sc. Ing. Johelyn M. Bredes Zavela
Cod. 3043

[Signature]
DICTAMINADOR
M. Ing. Boris Córdova Pillco
COD: 7767

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Señora Directora de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

Señores Miembros del Jurado Dictaminador de Tesis

De conformidad con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, pongo a vuestra consideración el presente trabajo de investigación titulado:

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EMPLEANDO LA ESPECIE
“*Morus alba*” COMO BIOINDICADOR DE CONTAMINACIÓN POR
MATERIAL PARTICULADO PM10 EN ZONAS DE MONITOREO DE LOS
DISTRITOS DE PAUCARPATA, UCHUMAYO Y YURA, EN AREQUIPA –
2018”.**

El siguiente trabajo fue elaborado conforme a los conocimientos aprendidos durante el transcurso de mi formación profesional, y mediante el cual me permitirá optar por el título profesional de Ingeniero Ambiental.

Arequipa, diciembre del 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a las siguientes personas que me acompañaron y brindaron su apoyo en todo momento de mi vida:

Primero, a Dios quien me acompañó en mis momentos de angustias y bendiciones, quien me ayudó guiándome y a forjar un camino de bien lleno de valores y virtudes.

Segundo, a mi familia amada quienes me permitieron crecer en un ambiente de amor y comprensión, quienes me permitieron crecer en mi vida personal y poder optar por una carrera profesional, que su esfuerzo se vea remunerado en mí como una persona exitosa y de bien.

Y por último a mis queridos abuelos quienes siempre tuvieron ese amor incondicional y confianza en mi persona por sobre todas las cosas, calmando mis angustias y brindando ese cariño desde el primer día que llegue al hogar.

Mauricio Alexander Suella López

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme estar con vida, ser mi fortaleza y permitirme crecer como persona guiándome durante toda mi vida.

A mis padres Roy Suclla y Geovanna López, y mi hermano Bryan Suclla, por enseñarme valores, virtudes y poder ser quien reciba tanto amor durante toda mi vida.

Al Dr. Blgo. Armando J. Arenazas Rodríguez, por ayudarme y guiarme en el desarrollo de mi formación académica y en la elaboración de mi tesis. Por su apoyo y cariño desinteresado y su gran amistad.

Al Ingeniero Berly Cárdenas Pilco por brindarme su comprensión y apoyo durante mi desarrollo académica y sus valiosos consejos y amistad.

Al doctor Zacarías Madariaga, ingenieros Gina Fuentes, Marcia Vargas, Yuri Isasi, Víctor Escobedo y Rosa Mamani, y profesional de salud ocupacional Carmen Solís y Leticia Huamaní por acompañarme y servir como ejemplo profesional y permitirme desarrollar mi investigación en colaboración con el Área de Ecología, Protección del Ambiente y Salud Ocupacional de la Gerencia Regional de Salud – Arequipa.

RESUMEN

La investigación consistió en la evaluación de calidad atmosférica de la ciudad de Arequipa por PM10 empleando el árbol de Mora como agente bioindicador mediante la afectación de su tasa estomática por el contaminante respecto a tres distritos; 2 ubicados en periferia y un punto metropolitano. Se realizó muestreos durante 3 meses mediante la extracción de hojas para analizarlos por microscopio óptico y microscopía de barrido. Los análisis se realizaron en la cara superficial abaxial de las hojas simulando un escaneo; en la observación por microscopio óptico se obtuvo resultados del cambio en la tasa estomática en relación a niveles de contaminación por PM10 registrados por extractores de aire. Las micrografías demostraron el proceso de afectación estomática por el contaminante en forma superficial. Los resultados concuerdan que sectores con altos niveles de contaminación presentaron una alteración en el número estomático, siendo los sectores de Paucarpata y Uchumayo fueron los que evidenciaron dichos cambios con variación decreciente respecto al último mes de evaluación (38 a 33 estomas observados en un área de estudio de $16040 \mu\text{m}^2$). Respecto al sector Yura no hubo respuesta significativa conforme a la tasa estomática. Mediante micrografías de barrido se evidenció diferentes formas de afectación estomática como la formación de tapones e ingreso de PM10 al ostiolo de los estomas. Posteriormente se planeó medidas para mejorar los planes de monitoreo ambiental mediante el empleo de agentes bioindicadores y servicios ecosistémicos para la toma de decisiones

Palabras claves: Material particulado, PM10, Estomas, *Morus alba*, Calidad del aire, agente bioindicador.

ABSTRACT

The research consisted of the evaluation of atmospheric quality of the city of Arequipa by PM10 using the Mora tree as a bioindicating agent by affecting its stomatic rate by the pollutant with respect to three districts; two located on the periphery and one at metropolitan point. Samples were performed for 3 months by removing leaves to analyze them by optical microscope and scanning microscopy. The following analyzes were performed on the abaxial surface of the leaves simulating a scan. In the observation by optical microscope, results of the change in the stomatic rate in relation to levels of PM10 contamination recorded by air extractors were obtained. The micrographs demonstrated the process of stomatic involvement by the contaminant in superficial form. The results agree that sectors with high levels of contamination presented an alteration in the stomatic number, being Paucarpata and Uchumayo sectors were those that evidenced these changes with decreasing variation with respect to the last month of evaluation (38 to 33 stomata observed in a study area of $16040 \mu\text{m}^2$). Regarding Yura sector there was no significant response according to the stomatic rate. Scanning micrographs showed different forms of stomatal involvement such as plug formation and PM10 entering the stomata ostiolus. Subsequently, measures were planned to improved environmental monitoring plans through the use of bioindicators and ecosystem services for decision-making.

Keywords: Particulate material, PM10, stomata, *Morus alba*, air quality, bioindicating agent.

PRÓLOGO

Desde el desarrollo de la revolución industrial, la humanidad ha expandido sus fronteras a pasos agigantados en diversos campos desde las ciencias y tecnologías hasta en varios aspectos sociales. Gracias a ello se puede disfrutar de una vida plena con mayores posibilidades de desarrollo y practicidad en comparación a tiempos anteriores, trayendo consigo un ideal de un mundo mejor para toda la raza humana. Pero su desarrollo desmesurado trajo consigo un desorden los sistemas en que se regía el planeta Tierra.

Las industrias y el consumo constante de recursos naturales trajeron consigo la expansión y cambios de uso de tierras, deforestación masiva, extinción de especies y generación de diversos contaminantes que, sin darnos cuenta, empezó a afectar a la propia humanidad, así como lo hacía con el resto del planeta Tierra. La preocupación contemporánea sobre ideas como la sustentabilidad ambiental se remontaban en advertencias realizadas en los años sesenta sobre los impactos negativos del crecimiento industrial en países desarrollados por sobre los subdesarrollados. En la actualidad no dejan de existir investigaciones que apuntan a un cambio inminente de las condiciones normales en que se desarrolla el funcionamiento de la naturaleza y que seremos los propios actores en destruir los ideales de prosperidad que se tenía años anteriores.

En la actualidad no dejan de existir diferentes estudios y noticias que nos indican un negro futuro respecto a la calidad atmosférica del planeta Tierra. Ejemplo de algunas naciones tenemos a Asia y Europa quienes pasaron a tener valores de contaminación por encima de los estándares propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el banco Internacional. Diversos científicos como es el caso de la experta libanesa en química analítica y atmosférica, Najat Saliba, apuntan que cada vez existen más muertes de personas al año debido a las condiciones atmosféricas en que se desarrollan durante su trayecto de vida. Su preocupación es clara respecto a cómo el ser humano a llevado su salud al borde de problemas respiratorios y cáncer producto de las toxinas que se instalan en el aire como micropartículas y elementos químicos.

En la realidad peruana, tomando como fuente de estudio al departamento de Arequipa, se tiene a la ciudad de Arequipa considerada la segunda ciudad de mayor importancia y desarrollo conforme al país; pero consigo como una ciudad con una exponencial elevación de los niveles de contaminación debido a su desarrollo incontrolado y

desorganizado, por la falta de interés de las autoridades públicas y privadas y la poca conciencia y educación de la población en tratar de mantener un ambiente sano tanto para ellos mismos como para la naturaleza. Arequipa con una población cercana a los 1 382 730 habitantes de acuerdo al censo 2017 por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, concentra un porcentaje elevado siendo casi el 95% de su población en el área metropolitana. Su desarrollo cambio drásticamente pasando a ser una ciudad con fines agropecuarios y mineros a una próspera metrópoli con fuerte impacto en actividades económicas de la región Sur. Su constante crecimiento industrial y urbanístico debido al aumento poblacional, industrial y automovilístico ha generado la necesidad de construir y expandir el horizonte urbano hacia zonas que antiguamente servían para la agricultura y ganadería.

El cambio de las características y producción masiva de contaminantes por un aumento en el parque automotor y destrucción de la famosa “campiña arequipeña” ha generado que sus niveles de contaminación atmosférica se eleven drásticamente superando en diversas ocasiones los Estándares de Calidad peruanos respecto a calidad atmosférica y representando consigo una ciudad con elevada polución y graves problemas respiratorios. Si el panorama de “la ciudad blanca” se aplicaba años anteriores, ese lema se ha visto altamente modificado debido a la mala calidad atmosférica en que la ciudad se encuentra. Su condición geográfica como valle y la constante generación de polución han ocasionado diversos focos de contaminación atmosférica que preocupa a científicos y personal de salud. Mientras no se logre tomar acciones que permitan un mayor control y preservación de la calidad ambiental, se podría comparar a un futuro a las ciudades con estados de emergencia por contaminación ambiental alrededor del mundo.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
PRÓLOGO	vii
ÍNDICE	ix
Índice de Tablas	xiii
Índice de Figuras	xiv
Índice de Anexos	xvi
Índice de Ecuaciones	xvii
GLOSARIO DE ACRÓNIMOS	xviii
Capítulo I: Introducción	1
1. Planteamiento del problema.	1
1.1. Diagnóstico situacional.	3
1.2. Formulación del problema.	6
1.3. Base Legal	10
1.4. Hipótesis.	12
1.5. Objetivos.	12
1.5.1. Objetivo General.	12
1.5.2. Objetivos Específicos.	12
1.6. Exposición de variables.	13
1.7. Justificación.	13
Capítulo II: Marco Teórico	17
2. Fundamento Teórico.	17
2.1. Antecedentes.	17

2.2.	Conceptos.....	20
2.2.1.	La atmósfera.	20
2.2.2.	Contaminación atmosférica.....	21
2.2.2.1.	Fuente móvil.	22
2.2.2.2.	Fuente fija.	22
2.2.2.3.	Fuente fugitiva.	22
2.2.3.	Material Particulado.	23
2.2.3.1.	Material Particulado de 10 micras, PM10.	24
2.2.3.2.	Material Particulado de 2.5 micras, PM2.5.	24
2.2.4.	Efectos en la Salud y Ambiente.	25
2.2.5.	Hollín.	26
2.2.6.	Estándar de Calidad Ambiental (ECA).....	27
2.2.7.	Índice de Calidad Ambiental.....	28
2.2.8.	Equipos de medición para monitoreo de aire.....	30
2.2.8.1.	Equipo Hi-vol.	30
2.2.8.2.	Equipo Low-vol.	30
2.2.9.	Bioindicadores.....	31
2.2.9.1.	Árboles como bioindicadores.	32
2.2.9.2.	Líquenes como bioindicadores.	33
2.2.10.	Estomas.....	33
2.2.11.	<i>Morus alba</i>.	35
2.2.12.	Cambio epigenético de especies vegetales.....	36
2.2.12.1.	Epigenética del <i>Morus alba ante contaminantes atmosféricos</i>	36
2.2.13.	Servicios ecosistémicos.	37
2.2.14.	Bosques urbanos.	42
Capítulo III:	Metodología.....	46
3.	Procedimientos.....	46

3.1.	Tipo de Investigación	46
3.2.	Campo de Verificación.....	46
3.3.1	Lugar de Ejecución.....	46
3.3.2	Ubicación espacial	46
3.3.3	Unidades de estudio	47
3.3.	Población, muestra	47
3.4.	Diagrama de flujo de actividades.....	50
3.5.	Metodología Experimental	50
3.5.1.	Evaluación de las condiciones del agente bioindicador y cuantificación de las concentraciones de PM10 presentes en las zonas de estudio en comparación a los ECA.....	50
3.5.2.	Evaluación de la tasa estomática del bioindicador <i>Morus alba</i> en relación a la concentración de PM10.....	53
3.5.3.	Determinación de la forma de afectación por PM10 en morfología y la tasa estomática del agente bioindicador, <i>Morus alba</i>	57
3.5.4.	Propuestas de alternativas de mejora al plan de monitoreos para calidad ambiental con especies bioindicadoras.	58
3.6.	Materiales y equipos.....	59
Capítulo IV: Resultados y discusiones.....		61
4.1.	Evaluación de las condiciones del agente bioindicador y cuantificación de las concentraciones de PM10 presentes en las zonas de estudio en comparación a los Estándares de Calidad Ambiental.....	61
4.1.1.	Selección y ubicación de la especie bioindicadora en relación al punto de monitoreo.....	61
4.1.2.	Evaluación de concentración de PM10 en las zonas de estudio.....	63
4.2.	Evaluación de la tasa estomática del bioindicador, <i>Morus alba</i> , en relación a la concentración de PM10.....	67
4.2.1.	Paucarpata	70

4.2.2.	Uchumayo	72
4.2.3.	Yura	74
4.3.	Determinación de la forma de afectación por PM10 en morfología y a la tasa estomática del agente bioindicador, <i>Morus alba</i>	77
4.3.1.	Micrografías de Paucarpata	77
4.3.2.	Micrografías de Uchumayo	78
4.3.3.	Micrografías de Yura	79
4.4.	Propuestas de alternativas de mejora al plan de monitoreos para calidad ambiental con especies bioindicadoras.	83
4.4.1.	Técnicas para monitorear calidad ambiental con bioindicadores y servicios ecosistémicos.	83
4.4.1.1.	Propuestas de foresta.	83
4.4.1.2.	Monitoreo de PM por árboles.	85
4.4.1.3.	Estudio de calidad atmosférica por líquenes.	87
4.4.1.4.	Captura de carbono.	90
4.4.1.5.	Modelación de servicios ecosistémicos mediante software.	92
4.4.2.	Beneficio de estudios empleando bioindicadores y servicios ecosistémicos para la toma de decisiones.	94
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones		100
5.1	Conclusiones	100
5.2	Recomendaciones	101
Capítulo VI: Bibliografía		102
ANEXOS		108

Índice de Tablas

Tabla 1: Variables aplicadas en la investigación.....	13
Tabla 2: Clasificación de fuentes emisoras.	23
Tabla 3: Impactos generados por PM, O ₃ , SO ₂ y NO ₂	26
Tabla 4: Estándares de Calidad Ambiental para Aire-2017.	28
Tabla 5: Tabla de Valores del INCA.	29
Tabla 6: Intervalo INCA y su ecuación en relación a la concentración de PM ₁₀	29
Tabla 7: Cuidados y Recomendaciones del INCA.	30
Tabla 8: Bioindicadores forestales de contaminación atmosférica.	32
Tabla 9: Tabla de consideraciones para uso de árboles como bioindicador.	32
Tabla 10: Evaluación del concepto de servicios ecosistémicos a través de enfoques.....	39
Tabla 11: Intervalo INCA aplicado a la Concentración de PM ₁₀ registrado en los muestreos de los distritos de Paucarpata, Uchumayo y Yura.....	66
Tabla 12: Área foliar promedio en cm ² del envés de las hojas de <i>Morus alba</i> en los distritos de Paucarpata, Uchumayo y Yura.	68
Tabla 13: Prueba de ANOVA para el número de estomas en los meses de octubre, noviembre y diciembre del sector de Paucarpata.	70
Tabla 14: Prueba de TUKEY para el número de estomas en los meses de octubre, noviembre y diciembre en el sector de Paucarpata.....	71
Tabla 15: Prueba de ANOVA para el número de estomas en los meses de octubre, noviembre y diciembre del sector de Uchumayo.	72
Tabla 16: Prueba de TUKEY para el número de estomas en los meses de octubre, noviembre y diciembre en el sector de Uchumayo.....	73
Tabla 17: Relación de especies arbóreas para reforestación en la región de Arequipa.....	83
Tabla 18: Prueba de ANOVA para el número de estomas en los meses de octubre, noviembre y diciembre del sector de Yura.	129
Tabla 19: Prueba de TUKEY para el número de número de estomas en los meses de octubre, noviembre y diciembre en el sector de Yura.	129

Índice de Figuras

Figura 1: Reportes de Material Particulado respirable PM10 del año 2017 y 2018. Fuente GERESA-DESA.....	5
Figura 2: Porcentajes de emisiones contaminantes procedentes de fuentes fijas en ciudades 2013-2014. Fuente Informe de la Calidad del Aire – MINAM.....	7
Figura 3: Porcentajes de emisiones contaminantes procedentes de fuentes móviles en ciudades 2013-2014. Fuente Informe de la Calidad del Aire – MINAM.....	8
Figura 4: Porcentaje de emisiones de PTS/PM de fuentes fijas y fuentes móviles 2013-2014. Fuente Informe de la Calidad del Aire – MINAM.....	9
Figura 5: Principales causas de defunción entre los años 2000-2016. Fuente OMS - Ginebra.....	14
Figura 6: Reporte Material particulado respirable PM10 Bajo volumen Promedios Mensuales. Fuente: GERESA - DESA.....	19
Figura 7: Composición de la atmósfera. Fuente: Fernández (2017).	21
Figura 8: Diferencias entre PM10 y PM2.5. Fuente: Informe ambiental MMA - Chile-en base al sitio web EPA.....	25
Figura 9: Gráfica de estoma y su funcionamiento. Fuente: Abbas Caballero y Elena Roca (2018).	34
Figura 10: Árbol Morus Alba. Fuente: Sánchez. (2014).	35
Figura 11: Ejemplo de categorías de servicios ecosistémicos. Fuente Codato et al, 2015.....	40
Figura 12: Comparación de los flujos de dióxido de carbono involucrados en la fotosíntesis de la red foliar y la fotosíntesis del ecosistema. Fuente Way, 2019.....	41
Figura 13: Zona de estudio ubicado en Sede del Gobierno Regional	47
Figura 14: Mapeo de la Sede del Gobierno Regional.....	47
Figura 15: Frontis del Centro de Salud Ciudad de Dios.....	48
Figura 16: Mapeo del Centro de Salud Ciudad de Dios.....	48
Figura 17: Frontis del Centro de Salud Cerro Verde.....	49
Figura 18: Mapeo del Centro de Salud Cerro Verde.....	49
Figura 19: Diagrama de flujo de la investigación	50
Figura 20: Ejemplo del funcionamiento del software IMAGEJ. Fuente propia.....	55

Figura 21: Partes de la hoja y zonas de extracción de cutícula. Fuente propia con imágenes en Google.....	55
Figura 22: Fotografía de muestras de hojas preparadas para análisis por microscopio óptico. Fuente propia.	56
Figura 23: Micrografía de muestra metalizada de hoja de <i>Morus alba</i> con aumento de 30X. Fuente propia en base al laboratorio de la Universidad nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna.....	57
Figura 24: Ubicación espacial del agente bioindicador del sector de Paucarpata.	61
Figura 25: Ubicación espacial del agente bioindicador del sector de Uchumayo.....	62
Figura 26: Ubicación espacial del agente bioindicador del sector de Yura.	62
Figura 27: Reporte Material Particulado Respirable PM10 de Bajo Volumen 2018 - DIGESA de los meses y zonas de evaluación propuestos. Fuente propia en base a data de la Gerencia Regional de Salud –Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental.	63
Figura 28: Número de estomas identificados mediante muestreo por microscopio óptico en los distritos de Paucarpata, Uchumayo y Yura. Fuente propia.	69
Figura 29: Número de estomas con los niveles de contaminación por PM10 por mes evaluado en el sector de Paucarpata. Fuente propia.	70
Figura 30: Número de estomas con los niveles de contaminación por PM10 por mes evaluado en el sector de Uchumayo. Fuente propia.	72
Figura 31: Gráfica del número de estomas con los niveles de contaminación por PM10 por mes en el sector de Yura. Fuente propia	74
Figura 32: Formas de afectación estomática por material particulado PM10 y menores. Fuente propia.	80
Figura 33: Cuadrícula para muestreo de líquenes. Fuente Riquelme, 2017.....	88
Figura 34: Distintos usos del enfoque sobre servicios ecosistémicos para la toma de decisiones en la gestión del territorio. Fuente Pacha - WWF, 2014.....	95
Figura 35: Caminos y niveles de impacto de la información de Servicios Ecosistémicos sobre las decisiones para la gestión del territorio. Fuente Pacha - WWF, 2014.	97
Figura 36: Aplicación de caminos y niveles de impacto de la información de servicios ecosistémicos sobre las decisiones para la gestión ambiental de la situación de estudio realizado en la ciudad de Arequipa. Fuente propia.	99

Índice de Anexos

Anexo 1: Solicitud distrital de Paucarpata	108
Anexo 2: Solicitud distrital Uchumayo.	109
Anexo 3: Certificado distrital de Uchumayo.....	110
Anexo 4: Solicitud distrital Yura.....	111
Anexo 5: Solicitud Centro de salud Ciudad de Dios.	111
Anexo 6: Solicitud a la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental.....	113
Anexo 7: Fotografías de equipos “Impactador Harvard Low-Vol” empleados en los puntos de monitoreo de los sectores de Paucarpata, Uchumayo y Yura.	113
Anexo 8: Carta de especies arbóreas SERFOR.....	115
Anexo 9: Cuadro de data Hojas analizadas por microscopio óptico.	116
Anexo 10: Concentración Promedio de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrado en las zonas de estudio.....	125
Anexo 11: Cuadro de deducción de área foliar por método Gravimétrico.....	126
Anexo 12: Imágenes Hojas de Morus Alba empleadas para el software IMAGEJ.....	126
Anexo 13: Cuadro de deducción de área foliar por software IMAGEJ.....	128
Anexo 14: Resultados obtenidos empleando software IMAGEJ y método Gravimétrico.	128
Anexo 15: Deducción de área foliar.	129
Anexo 16: ANOVA y TUKEY para el estudio estomático del sector de Yura.	129
Anexo 17: Micrografías del distrito de Paucarpata en los meses de octubre, noviembre y diciembre.	130
Anexo 18: Micrografías del distrito de Uchumayo en los meses de octubre, noviembre y diciembre.	131
Anexo 19: Micrografías del distrito de Yura en los meses de octubre, noviembre y diciembre.	133
Anexo 20: Cuadros de comparación de especies arbóreas propuestas por diferentes entidades y bibliografía.	135
Anexo 21: Reporte de micrografías del Laboratorio de ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María.	136

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Concentración de PM	52
Ecuación 2: Caudal estándar	52
Ecuación 3: Volumen estándar	52
Ecuación 4: Fórmula INCA	66
Ecuación 5: Fórmula para el número de árboles a muestrear	85
Ecuación 6: Fórmula para hallar el PM por gravimetría.	85
Ecuación 7: Fórmula para las partículas sólidas totales en base al PM y área foliar.	86
Ecuación 8: Fórmula del valor se suma de frecuencias	89
Ecuación 9: Fórmula Valor de Diversidad Liguénica.	89
Ecuación 10: Error estándar de J	89
Ecuación 11: Amplitud del valor de Diversidad Liguénica.	89
Ecuación 12: Fórmula Índice de Pureza Atmosférica IPA	89
Ecuación 13: Índice de Pureza Atmosférica Modificado.	90
Ecuación 14: Fórmula del Servicio de captura de carbono.	90

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

- ♣ ARMA: Autoridad Regional del Medio Ambiente.
- ♣ Av.: Avenida.
- ♣ COV: Compuestos Orgánicos Volátiles.
- ♣ DIGESA: Dirección General de Salud Ambiental.
- ♣ DESA: Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental.
- ♣ ECA: Estándar de Calidad Ambiental.
- ♣ EPOC: Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
- ♣ GERESA: Gerencia Regional de Salud.
- ♣ GESTA: Grupos de Estudio Técnico.
- ♣ GRA: Gerencia Regional de Arequipa.
- ♣ INCA: Índice de Calidad del Aire.
- ♣ LMP: Límite Máximo Permisible.
- ♣ MFC: Regulador de Caudal Másico.
- ♣ MINAM: Ministerio del Ambiente – Perú.
- ♣ MMA: Ministerio del Medio Ambiente – Chile.
- ♣ ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- ♣ OMS: Organización Mundial de la Salud.
- ♣ PM10: Material Particulado de 10 micras.
- ♣ PM2.5: Material Particulado de 2.5 micras.
- ♣ PPN: Productividad Primaria Neta.
- ♣ PTS: Partículas Totales Suspendidas.
- ♣ S/n: Sin número
- ♣ SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
- ♣ UTM: sistemas de coordenadas Universal Transverse Mercator.
- ♣ UV: Ultra Violeta.
- ♣ VFC: Regulador de Caudal Volumétrico.
- ♣ VUEC: Valor Umbral del Estado de Cuidado.
- ♣ WWF: World Wildlife Fund.

Capítulo I: Introducción

1. Planteamiento del problema.

La contaminación atmosférica se ha vuelto un tema de suma importancia y preocupación. Diversas entidades encargadas de velar por la calidad ambiental muestran su interés por el constante aumento en los niveles de contaminación a lo largo del tiempo y sus notables repercusiones tanto en el ecosistema como en la salud. Según diario El Pueblo en un boletín del 2017, instituciones como la Autoridad Regional del Medio Ambiente (ARMA) han indicado en sus informes que la contaminación atmosférica representa un grave problema entre la comuna arequipeña, “Vivimos en un lugar donde por lo que estamos respirando, comenzaremos a desarrollar mayores complicaciones”. Además, se indica que la ciudad ha tenido un ascenso respecto al servicio del parque automotor, lo cual estimaría un aumento en las fuentes de emisiones móviles de la ciudad (El Pueblo, 2017).

En la actualidad se tiene conocimiento sobre la creciente problemática respecto a la contaminación ambiental provocada en su mayoría por componentes físicos como el PM10 (material particulado de 10 micras de diámetro), PM2.5 (material particulado de 2.5 micras de diámetro), componentes químicos como los óxidos de nitrógeno y de carbono, en su mayoría producidas por la combustión de recursos fósiles (carbón, petróleo y derivados) para la producción de energía eléctrica y/o térmica. Algunos problemas asociados a la presencia de contaminantes son efectos provocados en la salud humana como son cuadros relacionados a problemas cancerígenos y de intoxicación; por otra parte, se asocian problemas industriales respecto a la acumulación de partículas en los equipos y maquinarias generando depósitos sólidos los cuales interrumpen el correcto funcionamiento, reduciendo la eficiencia de los mismos y representando un gasto económico.

Mediante un informe ambiental avalado por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile se cataloga al material particulado como el contaminante atmosférico con mayor relación a situaciones y eventos de mortalidad y morbilidad. En base a diversos estudios demostraron la relación entre la incidencia de enfermedades cardiorrespiratorias y muertes prematuras siendo la mayor proporción de población vulnerable los niños que están expuestos a elevados niveles de concentración de componentes como el ozono,

dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y material particulado; por otra parte, determinaron la afectación que se presenta en la calidad de materiales, impactos en la visibilidad, y daños en la flora y fauna silvestre (MMA - Chile, 2012).

El Instituto Nacional de Salud Pública indicó que dentro de los efectos reconocidos por el material particulado en la salud se encuentra la reducción de la función pulmonar, un aumento en la frecuencia de enfermedades como el asma y bronquitis crónica siendo estas de carácter crítico en ocasiones, silicosis y asbestosis, catarro, exacerbación de asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (Riojas et al, 2017)

Un grupo de investigadores, en el 2016, realizó un estudio sobre material particulado en el país de Argentina haciendo mención que las partículas finas son las responsables de la reducción de la visibilidad en zonas con niveles de contaminación atmosférico elevados debido a la absorción de la luz por las micropartículas, las cuales pueden desembocar en deposiciones y eventualmente permanecer largos periodos de tiempo en el ambiente, mientras que las partículas de mayor tamaño son las que se suelen depositar en zonas cercanas a su fuente de origen o emisión. Ellos relacionan la dispersión de los contaminantes con el tamaño de la micropartícula y cómo este escoge un destino de deposición (Moreno et al, 2016).

La doctora Martín (2005) en su tesis doctoral “Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad de Buenos Aires - 2005” indica que las principales fuentes emisoras de contaminante por material particulado total son provocadas por fuentes areales, mencionamos comercios, pequeñas industrias, residencias, vehículos y aviones. Paula Martín considera que los automóviles son los causantes del 94.7% de las emisiones anuales de material particulado total en la ciudad de Buenos Aires, considerando a la par un promedio de concentración media observada de 0.189 mg/m³ y concentración media mensual estimada de 0.253 mg/m³. El resto del porcentaje equivale a fuentes fijas puesto que en su estudio no consideró los aportes de fuentes naturales tales como viento, resuspensión de polvo, conversión de gases, etc.

El material particulado constituiría un problema creciente no solo considerándolo como tal, sino por su inmensa interrelación que puede tener con otros contaminantes emitidos en las fuentes de origen. En la actualidad se tiene que en la producción energética se emiten óxidos de nitrógeno y materia particulada tipo hollín, conformado por diversas partículas respirables de diverso tamaño (PM10 y PM2.5) y que debido a las

características químicas puede reaccionar como núcleo de condensación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), lo cual se asocia con efectos cancerígenos en la salud. Otro problema causado es la acumulación de este tipo de hollín en diversos equipos y materiales formando depósitos sólidos, lo cual disminuyen el rendimiento, empeoran el funcionamiento del sistema de combustión volviendo más ineficiente su proceso y generando mayor contaminación y posibles pérdidas. La investigación de la Dra. Paula Martín caracteriza al PM10 como un contaminante de materiales como son pintura, vidrio, teñido, etc. Además de ser característico el ensuciamiento al otorgar una coloración negruzca, hace mención del efecto de la erosión de la mampostería sobre edificios de gran valor arquitectónico e histórico, un problema característico de ciudades europeas y civilizaciones antiguas como por ejemplo la catedral de la Colonia en Alemania la cual es construida por arenisca y presenta un rápido deterioro, o las Acrópolis en Atenas (Grecia) las cuales se continúan desmoronando. Otro daño a materiales es a productos con capas de pinturas u oleosas puesto que tienden a adherirse a la superficie ocasionando fricción, ensuciamiento y deterioro de la calidad del arte (Martin, 2005).

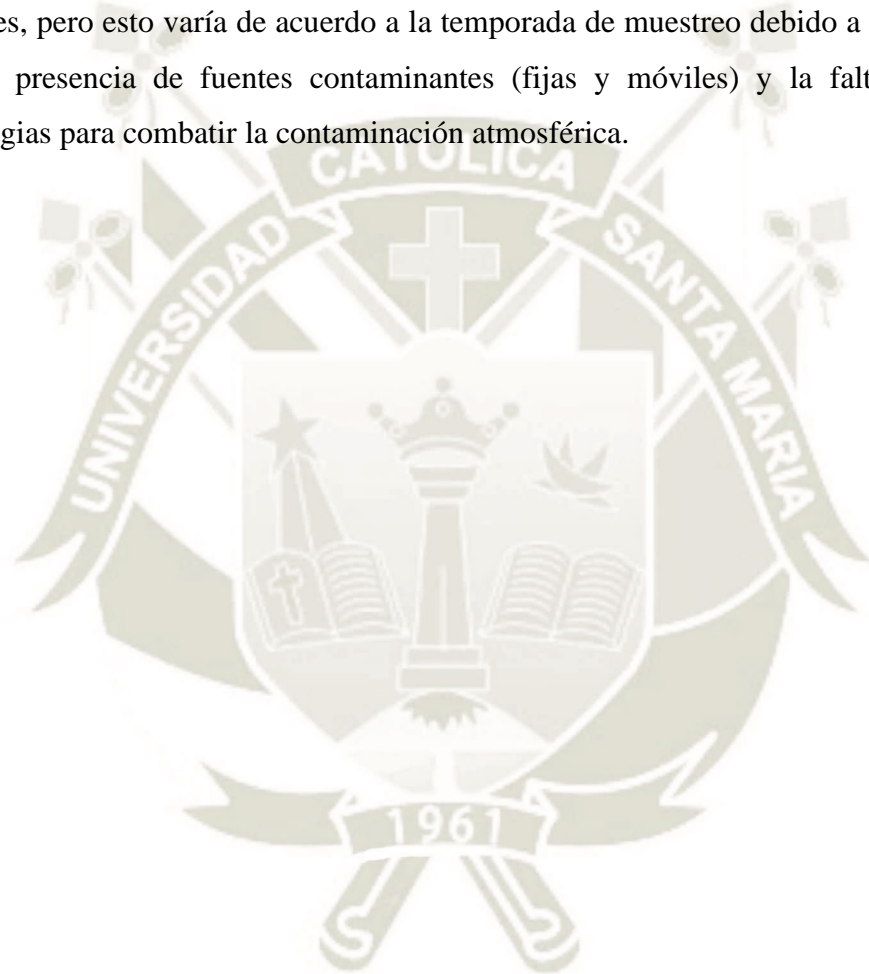
1.1. Diagnóstico situacional.

EL PM10 y PM2.5 provienen tanto de fuentes móviles por el uso de combustibles fósiles, como de fuentes fijas y fuentes naturales; las primeras son las que contribuyen en un mayor porcentaje en las áreas urbanas. Los valores vigentes de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Aire para material particulado PM10 en el Perú son de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el valor de media en 24 horas y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el valor de media anual; en cambio, la Organización Mundial de la Salud OMS establece como valores fijados de directrices para PM10 de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la media en 24 horas y $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la media anual (Organización Mundial de la Salud OMS, 2018).

El impacto en la salud del material particulado está ampliamente documentado y se asocia principalmente con mortalidad prematura de causa cardiovascular y respiratoria, cáncer pulmonar e incremento de admisiones hospitalarias por asma y otras enfermedades respiratorias (Pulgar-Vidal, 2014).

DIGESA, a través de la Gerencia Regional de Salud (GERESA) – Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA) genera reportes mensuales de material particulado respirable. En la **figura 1** se tiene los reportes conforme a los años 2017 y 2018 de la

ciudad de Arequipa. Conforme se aprecia, la ciudad se monitorea a través de 5 zonas de monitoreo: en la Municipalidad Provincial, av. Kennedy, Cono norte, posta de salud de Socabaya y Pueblo Joven Cerro Verde. Los reportes indican que la calidad atmosférica respecto al PM10 supera en diversas ocasiones el ECA anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y desde que se actualizó en 2017 el ECA de 24 horas se observa ocasiones en que la medida fue superada lo que indicaría una baja calidad ambiental y la aparición de posibles problemas a la salud y ecosistema. La contaminación se ha visto disminuida en algunos sectores, pero esto varía de acuerdo a la temporada de muestreo debido a factores como mayor presencia de fuentes contaminantes (fijas y móviles) y la falta de mejores estrategias para combatir la contaminación atmosférica.



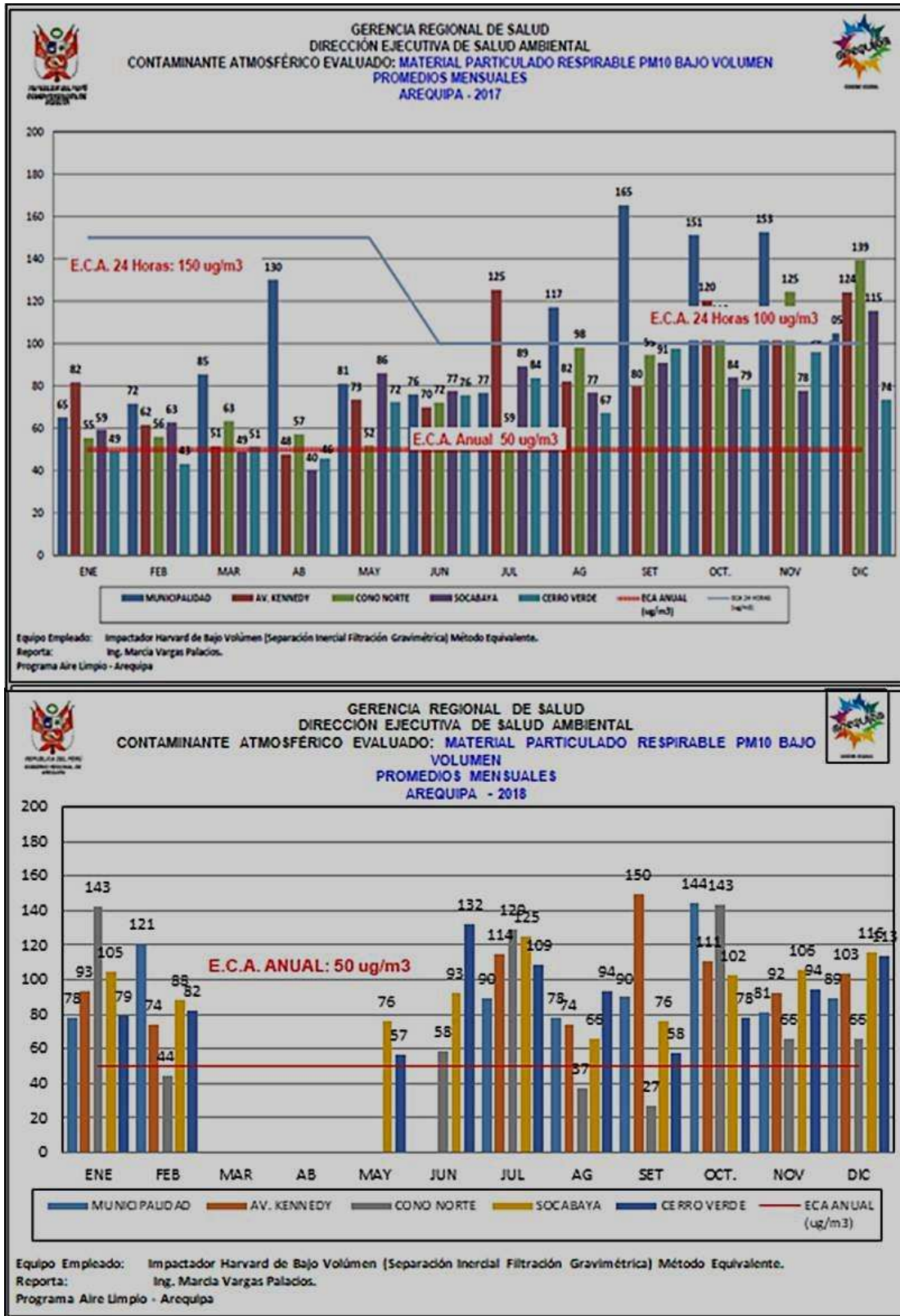


Figura 1: Reportes de Material Particulado respirable PM10 del año 2017 y 2018. Fuente GERESA-DESA

Los resultados para PM10 muestran que si bien es cierto los valores promedio diario de cada año no sobrepasan el ECA, sin embargo, los valores máximos diarios registrados

exceden en todos los años dicho valor, llegando a $342 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores promedio diario en los años 2007-2012 muestra una tendencia decreciente. Asimismo, cabe señalar que en la Estación Cono Norte se han registrado los valores más altos de concentración promedio diaria de PM₁₀, la cual en varios meses duplica y hasta triplica los valores detectados en las otras estaciones. La Estación Socabaya es la que presenta siempre los valores más bajos (Pulgar-Vidal, 2014).

1.2. Formulación del problema.

La Gestión de Calidad del aire cuenta con una institucionalidad establecida en los niveles nacionales regional y local (MINAM, DIGESA, SENAMHI, OEFA, sectores), así como la participación del sector privado y sociedad civil.

La Gerencia Regional de Salud de Arequipa (GERESA) a través de la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA) se encargan de evaluar las concentraciones de contaminantes de fuentes tanto en agua, suelo y aire mediante el empleo de instrumentos de gestión de calidad como son los ECA, LMP y conformación de grupos de estudio técnico (GESTA), estos permiten la elaboración de planes de acción y su implementación, así como programas de vigilancia de la calidad ambiental. La evaluación de la calidad del aire es para la adopción de tomas de decisiones y se debe relevar la tarea a entidades encargadas de velar por el cumplimiento y vigilancia constante de los parámetros en son del bienestar humano y ambiental. (Pulgar-Vidal, 2014).

El MINAM elaboró informes ambientales en donde dio a conocer la situación de los planes de estudio y gestión respecto a la contaminación atmosférica en diversas ciudades del Perú. De acuerdo a la **figura 2** se compara los porcentajes de emisiones de material particulado, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles e hidrógeno sulfurado emitidos por fuentes fijas tanto puntuales (industrial, ladrilleras, etc.) como de área (panaderías, pollerías, talleres, etc.). En la ciudad de Arequipa la emisión se caracterizó por una mayor emisión de material particulado seguido por dióxido de azufre y monóxido de carbono deducido a la acción de industrias y ladrilleras.

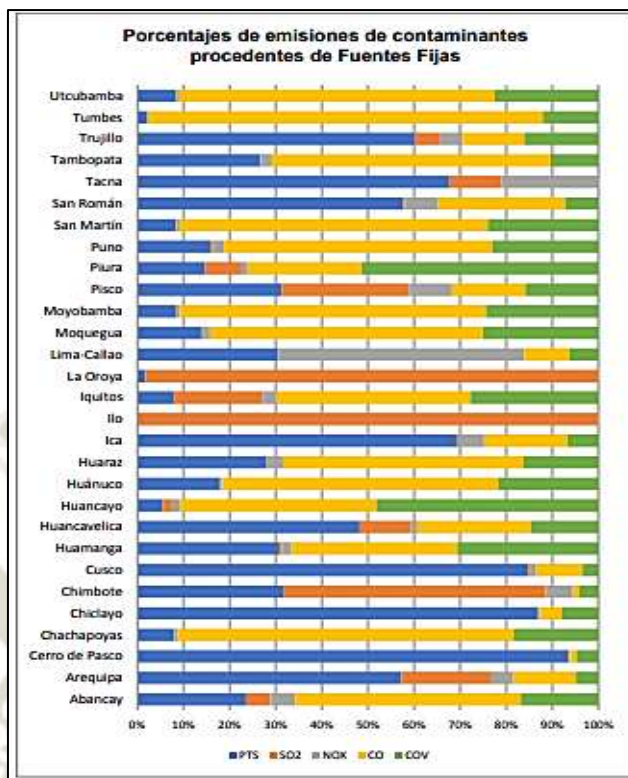


Figura 2: Porcentajes de emisiones contaminantes procedentes de fuentes fijas en ciudades 2013-2014.
Fuente Informe de la Calidad del Aire – MINAM

En la **figura 3** se observan emisiones de fuentes móviles como son monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y material particulado. Una apreciación es el predominio del monóxido de carbono en las ciudades seguido por los COV. En Arequipa se tiene el predominio en CO y óxidos de azufre.

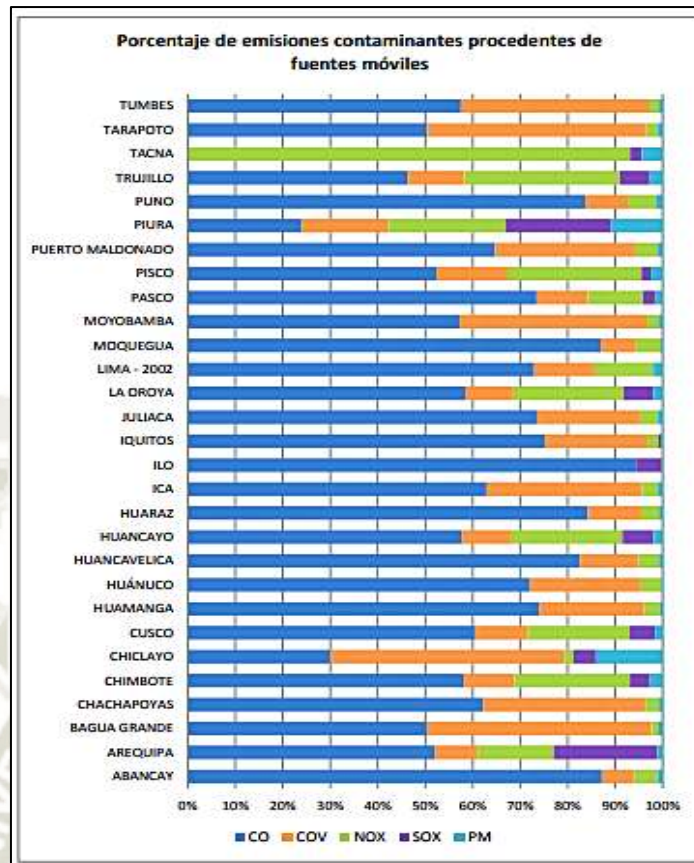


Figura 3: Porcentajes de emisiones contaminantes procedentes de fuentes móviles en ciudades 2013-2014. Fuente Informe de la Calidad del Aire – MINAM.

En la **figura 4** se observa la forma en que el material particulado tiene su origen siendo el predominante por fuentes fijas a excepción de la ciudad de Cusco. En Arequipa se estima una proporción de casi el 90% proveniente de fuentes fijas (industrial, ladrilleras, etc.)

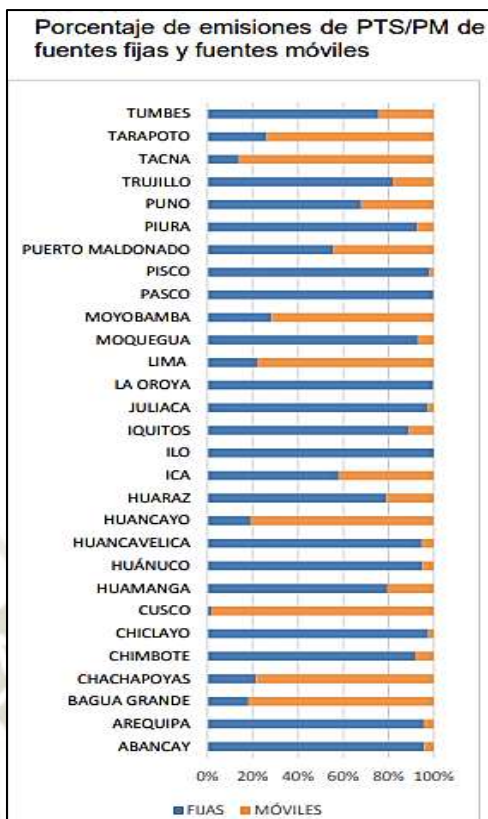


Figura 4: Porcentaje de emisiones de PTS/PM de fuentes fijas y fuentes móviles 2013-2014. Fuente Informe de la Calidad del Aire – MINAM

La contaminación atmosférica afecta a las ciudades por medio de gases, aerosoles atmosféricos o material particulado. El PM es una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas de diferente origen, tamaño, forma y composición química con impacto sobre la salud, ecosistemas, visibilidad e infraestructura, con consecuencias económicas y sociales. La OMS, en el 2014, ha establecido una relación directa entre la exposición a altas concentraciones de partículas gruesas y finas y los niveles de mortalidad y morbilidad de la población estimando que puede causar 3.7 millones de muertes prematuras en todo el mundo (Egas et al, 2018).

1.3. Base Legal

- ◆ Conforme a la Constitución Política del Perú, en el artículo 2º inciso 22 se establece que “Es deber primordial del Estado garantizar el derecho de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”. Así mismo, según el artículo 67º del mismo se señala que “El Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales” (DIGESA, 2005).
- ◆ Conforme al artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, se dispone que “Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como a sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país” (MINAM, 2017).
- ◆ Mediante el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM con título “Aprueban estándares nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen disposiciones complementarias” se aprueba y establecen los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aire, siendo de aplicación obligatorio para el diseño de normativas e instrumentos de gestión ambiental y políticas públicas en materia ambiental, los cuales son objeto de fiscalización por el titular de las actividades productivas, extractivas y de servicios de acuerdo a los lineamientos aprobados por el Ministerio del Ambiente, en coordinación con el Ministerio de Salud (MINAM, 2017).
- ◆ Conforme a la Resolución Ministerial N° 181-2016-MINAM se establece conforme a su artículo 1 el Índice de Calidad del Aire, así como la creación del Sistema de Información de Calidad del Aire – INFO AIRE PERÚ, como parte del Sistema Nacional de Información Ambiental – SINIA, consolidando y difundiendo la información de calidad del aire que producen las instituciones públicas y privadas a través de mecanismos directos o registros históricos (MINAM, 2016).
- ◆ La Resolución Directoral N° 1424-2005-DIGESA-SA, Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Gestión de los Datos tiene como objetivo la vigilancia de calidad ambiental mediante la aplicación de estrategias nacionales con fines de protección a la salud y del entorno natural. Este protocolo se basa en la determinación de concentraciones de contaminantes y sus impactos negativos, el cumplimiento de los

ECA del aire, la aplicación del reglamento de los niveles de estados de alerta y validar los inventarios de emisiones y modelos de dispersión de los contaminantes (DIGESA, 2005).

- ◆ La Ley N° 26821, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, establece a través de su resolución la “Responsabilidad del Estado de promover el aprovechamiento sostenible de la atmósfera y su manejo racional, teniendo en cuenta su capacidad de renovación” (DIGESA, 2005).
- ◆ El Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, Decreto Legislativo N° 613 (08-09-90), en su título preliminar, artículo I, establece que es “Obligación de todos la conservación del ambiente y consagra la obligación del Estado de prevenir y controlar cualquier proceso de deterioro o depredación de los recursos naturales que puedan interferir con el normal desarrollo de toda forma de vida y de la sociedad” (DIGESA, 2005).

En el marco internacional tenemos disposiciones como:

♠ Directrices de la OMS

- “Las directrices sobre calidad del aire publicadas en 2005 ofrecen orientación general relativa a umbrales y límites para contaminantes atmosféricos clave que entrañan problemas sanitarios. Las directrices señalan que mediante la reducción de la contaminación con partículas (PM10) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico es posible reducir en un 15% el número de defunciones relacionadas con la contaminación del aire”. Entre los valores fijados de PM10 tenemos: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 24 horas (Organización Mundial de la Salud OMS, 2018).

♠ Metas de la ODS

- “los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible”. Tenemos en el **OBJETIVO 11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES** metas como
 - Redoblar esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo.
 - Al 2030 reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire...

Y en el OBJETIVO 12 PRODUCCION Y CONSUMO RESPONSABLE

- Al 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, agua y suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y medio ambiente

(Organización de las Naciones Unidas, 2015)

1.4. Hipótesis.

Si se sabe que en la ciudad de Arequipa existen deficiencias en los planes de monitoreo de calidad ambiental así como excesos en la concentración de partículas atmosféricas respecto al ECA de aire debido al desarrollo industrial y exceso del parque automotor, entonces es probable que mediante el empleo de bioindicadores como la especie *Morus alba* nos permita evaluar de forma complementaria la calidad del aire respecto al PM10 en zonas de monitoreo representativos de los distritos de Paucarpata, Uchumayo y Yura con el fin de optimizar y proponer alternativas de mejora a los planes de monitoreo de la calidad ambiental.

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo General.

Evaluar la calidad del aire empleando la especie *Morus alba* como bioindicador de contaminación por material particulado PM10 en los distritos de Paucarpata, Uchumayo y Yura.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Evaluar las condiciones del agente bioindicador y cuantificar las concentraciones de PM10 presente en las zonas de estudio en comparación a los estándares de calidad.

- Evaluar la tasa estomática del bioindicador *Morus alba* en relación a la concentración de PM10.
- Determinar la forma de afectación por PM10 en morfología y la tasa estomática del agente bioindicador *Morus alba*.
- Proponer alternativas de mejora para los planes de monitoreo ambiental con especies bioindicadoras.

1.6. Exposición de variables.

Tabla 1: Variables aplicadas en la investigación.

Tipo	Variable	Unidad	Indicador
Independiente	Concentración de material particulado PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentraciones de hollín
Dependiente	Tasa estomática	Número de estomas	Informe de la variación de tasa estomática

Fuente propia.

Operacionalización: La tasa estomática de la especie bioindicadora se verá afectada conforme al grado de concentración de contaminación por PM10 evaluada de las zonas de muestreo ubicadas en los distritos de Paucarpata, Uchumayo y Yura de la ciudad de Arequipa.

1.7. Justificación.

❖ Aspecto General

La contaminación atmosférica por PM10 generada por fuentes móviles y fijas de aspecto natural y antropogénico, produce efectos en el ecosistema ocasionando grandes daños a la biota y al medio en que se presenta (Egas et al, 2018). A ello se suma un desconocimiento sobre los efectos que pueden ocasionar los focos de contaminación, perjuicios a la salud y gasto de recursos económicos en atender planes de gestión poco elaborados (Colque, 2014). Es por ello que me veo motivado a realizar un estudio del efecto que el material particulado (PM10) puede tener frente a especies vegetales, consideradas bioindicadores, ubicadas en las zonas de estudio de Paucarpata, Uchumayo y Yura en la ciudad de Arequipa.

❖ Aspecto Social

Se tiene registros sobre aumento en los niveles de concentración de contaminantes, siendo considerada por algunos reportes periodísticos a Arequipa como una de las ciudades con el peor aire para respirar. El mayor porcentaje es causado principalmente por el parque automotor (Cuentas, 2019). Conforme a registros de la OMS, se informó que en el año 2012 hubo cerca de 7 millones de personas afectadas por la exposición a la contaminación atmosférica intra y extramuros. Con estimaciones así, se considera como uno de los riesgos ambientales más importantes para la salud en el mundo (Riojas et al, (2017). La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es responsable de causar 3 millones de fallecimientos en el 2016, **figura 5**, según datos recopilados por “Estimaciones de Salud Global del 2000-2016 Ginebra, OMS” (Organización Mundial de la Salud OMS, 2018). En base a las Directrices de la OMS sobre Calidad del Aire se considera que mediante una reducción en las concentraciones de PM10 en su media anual en una cantidad de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se lograría disminuir el número de casos de defunciones relacionadas con la contaminación en aproximadamente un 15%. A pesar de los esfuerzos en la reducción de concentración, se estima que en países donde la población se ve expuesta a partículas de origen antropogénico ven reducida su esperanza media de vida en 8,6 meses. (Organización Mundial de la Salud OMS, 2018) . Estudios realizados en pacientes que sufrían EPOC revelaron que por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aumento en la concentración de PM10 las urgencias incrementan un 3,34%, y en personas mayores de 74 años se incrementaron en un 3,75% (Santurtún et al, (2017).

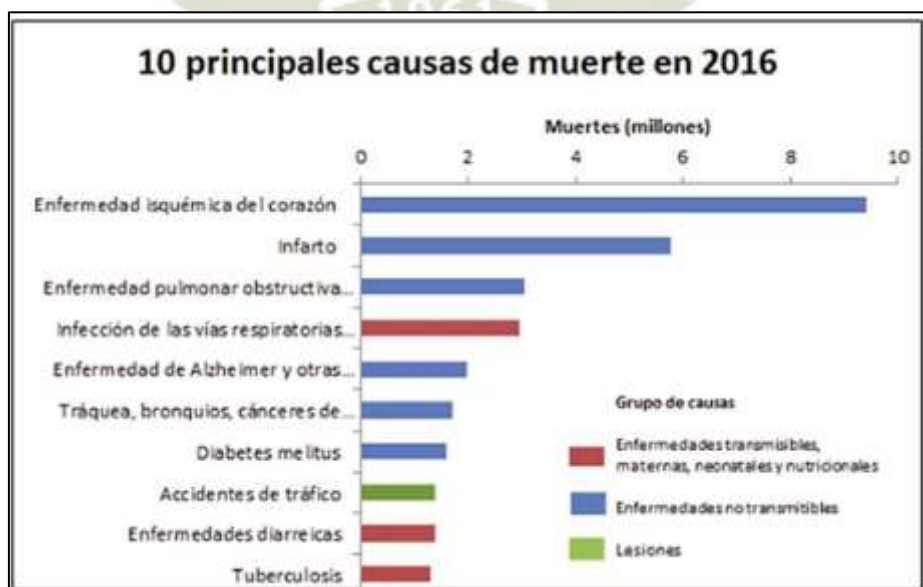


Figura 5: Principales causas de defunción entre los años 2000-2016. Fuente OMS - Ginebra

Es necesaria la aplicación de mejores técnicas que puedan corroborar la afectación que se experimenta en los puntos críticos de contaminación buscando oportunidades de cambio a mejora de calidad ambiental.

❖ Aspecto Económico

Se tiene comprendido que los daños ocasionados por el accionar de contaminantes puede significar gastos al tesoro económico, tanto privado como público. Conforme al Ministerio del ambiente de Chile en un informe ambiental se describe daños en la salud generados por la contaminación por PM y otros contaminantes. Así mismo se señaló daños materiales ocasionados por la deposición de partículas alterando propiedades físicas y químicas (MMA - Chile, 2012). Si bien existen estudios que confirman la capacidad de captación de material particulado por deposición en el follaje, también se conoce su cumplimiento de servicios ecosistémicos del tipo Regulación al intervenir en procesos ecosistémicos como regulación de aire, agua, suelo, procesos y pestes, servicio de Soporte al actuar como base para el cumplimiento de beneficios como el ciclaje de nutrientes; también actúan con un énfasis de servicio Cultural al permitir bienes como el confort y bienestar social brindando vitalidad económica a las ciudades (González, 2002).

❖ Aspecto Ambiental

La vegetación se ve muy relacionada con la calidad del aire debido a que actúa en función de la retención de material particulado en sus hojas y la absorción de gases contaminantes a través del proceso de respiración fotosintética. Sin embargo son escasos los estudios que investigan la cantidad de material particulado que es removido por parte de las diferentes especies arbóreas en diversos lugares (Vieco, 2014). Se hace conocimiento que la retención de material particulado figura como un servicio ecosistémico de la vegetación urbana debido a sus características fisiológicas, morfológicas y químicas del arbolado; pero estos pueden verse afectados significativamente en su valor, tanto en su eficiencia como en su normal desarrollo fisiológico, siendo un tema de investigación el conocer los efectos del PM sobre la salud de las hojas siguiendo algunas características morfo-anatómicas (Egas et al, 2018).

Mediante el conocimiento del efecto que puede tener el material particulado (PM10) frente a algunas especies arbóreas empleadas como bioindicadores y el daño que este produce en su fisiología y metabolismo (Egas et al, 2018), es que se podrían

implementar diversos modelos de planes de monitoreo ambiental, reforestación y mejora de calidad ambiental con nuevos enfoques que permitan reducir los impactos, poder brindar mayor efecto a los servicios ecosistémicos y con ello traer un mejor ordenamiento territorial (Pacha, 2014) del mismo modo se puede mejorar en planes de reforestación con nuevos enfoques ambientales, urbanos, económicos y sociales (Tovar, 2016) como por ejemplo la reducción de islas de calor ocasionando así un aumento en la cantidad y eficacia de las áreas verdes.

Adicionalmente se presenta un déficit para la ciudad de Arequipa respecto a la cantidad de área verde por habitante, situación que se agrava si es que el área verde ya existente no puede producir la cantidad de oxígeno debido al estrés. (Chauca, 2014)

❖ Aspecto Tecnológico

Los aportes generados por el estudio de daño por PM10, así como la tasa estomática de las especies pueden significar aportes para el conocimiento público y fuente de futuros estudios e investigaciones con el fin de seguir mejorando e innovando en materia científica. La elaboración de planes de gestión urbano a través del conocimiento y estudio de especies bioindicadores generaría mayor eficiencia en la aplicación de técnicas de mejora y cuidado de la calidad ambiental (Pacha, 2014). Cabe mencionar que, al comprender la existencia y eficacia de métodos de evaluación de impacto medioambiental, puede brindar diversos enfoques, así como el descubrimiento de mejor tecnología y procedimiento para realizar los estudios de monitoreos y caracterización ambiental de forma concisa y buscando simplicidad de operaciones atribuyéndose mejores técnicas que representen un menor empleo del tesoro público, así como procesos alternativos.

El estudio conformará una serie de información que brindarán un aporte sobre cómo es el estado actual, línea base, así como cimientos para posteriores planes de reordenamiento o planes de adecuación con respecto al manejo del parque automotor o reforestación de ambientes (Tovar, 2016).

Capítulo II: Marco Teórico

2. Fundamento Teórico.

2.1. Antecedentes.

La naturaleza, en relación al ser humano, desempeña un papel fundamental en diversos aspectos, no solo desde el ámbito económico; también desde el ámbito social y físico.

La naturaleza y cada uno de sus componentes siempre fue considerada como una fuente tanto de recursos naturales como de servicios ecosistémicos. De acuerdo con Gonzáles de Canales (2002) en su ensayo doctorado Beneficios del Arbolado Urbano, menciona la gran importancia del arbolado urbano en las ciudades y los beneficios que este brinda a la comunidad mencionando tanto las mejoras con respecto a la calidad del aire, agua y del suelo, disminución en la contaminación acústica y protección de la biodiversidad del medio ambiente. Gonzáles relaciona cada uno de estos aspectos con factores sociales que derivan en otro tipo de beneficios sociales como es el generar una cultura ambiental mediante la concientización del pueblo creando un sentimiento de cuidado e identidad sobre su ambiente, su comunidad y su salud; por otra parte, menciona diversos beneficios en el aspecto económico que brinda una sociedad ambientalmente responsable desde un punto de vista en valores de propiedades y belleza paisajística.

Pardos (2006) en su investigación “La contaminación atmosférica y los ecosistemas forestales en conjunto con la Universidad Politécnica de Madrid, España”, define a los contaminantes atmosféricos como “componentes presentes en la troposfera en concentraciones superiores a las normales y que tienen el potencial de generar daños” (Pardos J. A., 2006), además hace referencia a sus fuentes de origen tanto de origen natural en procesos de incendios forestales, episodios de erupciones volcánicas, procesos geotérmicos, presencia de elementos biológicos como microbios y virus; y de origen antropogénico en procesos de actividades industriales y de combustión.

De acuerdo al Ministerio del Medio Ambiente de Chile y citando a la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) se menciona una diferencia en la relación de tiempo de exposición y efectos en la salud con respecto al PM10 sosteniendo que existe pruebas en la relación de efectos cardiovasculares y respiratorios con una exposición de corto plazo; mientras que todavía no hay existencia de pruebas suficientes para constatar efectos con una exposición a largo plazo.

En 2005 la doctora Paula Martín en su trabajo “Contaminación del aire por material particulado en la ciudad de Buenos Aires” realizó una referencia a la ciudad argentina de Córdoba con la problemática por contaminación de PM10 asociado por dos problemas comunes: las alertas de tormentas de polvo esporádicas y, por otro lado, el aporte de las fuentes móviles provocando un aumento en los niveles permisibles en la normativa de calidad del aire. Paula Martín asocia el aumento en los niveles de contaminación con zonas comerciales con elevado tránsito vehicular y cambio de uso del suelo relacionándolo con el término de polvo resuspendido por masas de aire.

Estudios ejecutados en la región Arequipa tenemos un informe realizado por Fernández (2017) tratando sobre el material particulado y plomo en el distrito de San Juan de Siguan, Arequipa. Según su estudio los contaminantes en su mayoría se encontraban por debajo de los niveles establecidos en los ECA lo cual significaría un buen precedente conforme al estudio de calidad ambiental de la región Arequipa en zonas de periferia.

En el ámbito regional, La Gerencia Regional de Salud en coordinación con la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA), asociada a DIGESA, es una entidad encargada de monitorear diversos factores relacionados con la salud de la población. En su área de Ecología, Protección del Ambiente y Salud Ocupacional se llevan a cabo diversos monitoreos y auditorias con el motivo de evaluar las condiciones de calidad ambiental en que se desenvuelve la ciudad arequipeña. Para ello se realizan monitoreos de calidad atmosférica en función a zonas estratégicas de gran impacto como son los generados por el material particulado y/o tránsito vehicular en su mayor expresión. Para ello realiza monitoreos haciendo uso de entidades públicas en las zonas de Centro de salud Cono Norte, la Posta de salud del distrito de Socabaya, el Gobierno Regional de Arequipa, la Municipalidad Central y el Pueblo joven Cerro Verde, como se puede ver en la **figura 6**. DESA emplea extractores de aire con filtros para la captación del material particulado suspendido en el ambiente desde PM hasta CO₂, de acuerdo al tipo de material y el procedimiento que conlleve el equipo empleado.

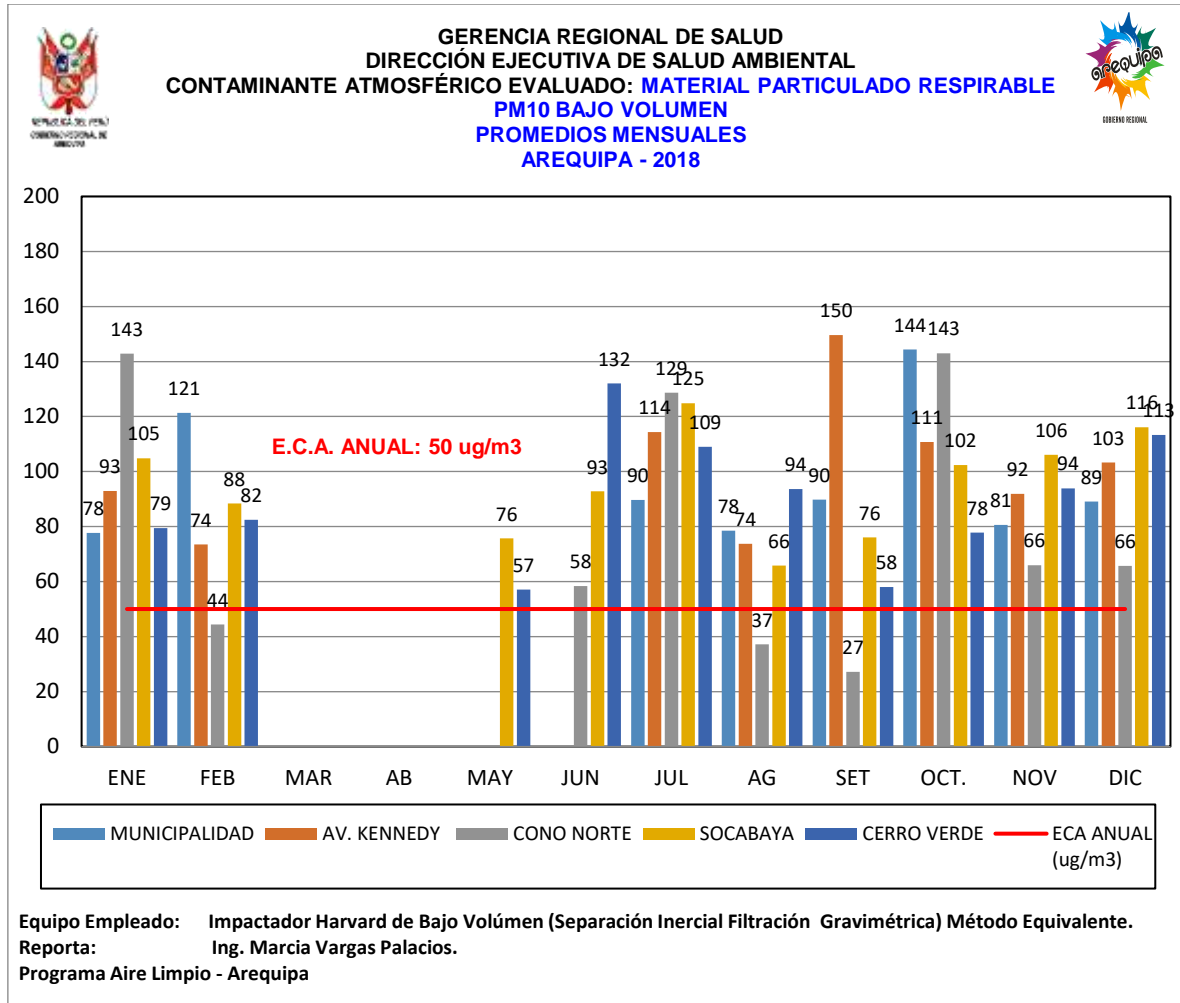


Figura 6: Reporte Material particulado respirable PM10 Bajo volumen Promedios Mensuales. Fuente: GERESA - DESA

Estudios realizados en Arequipa metropolitana tenemos el documento Instrumentos de Gestión Urbana Territorial, año 2017, del distrito de Alto Selva Alegre el cual caracteriza a la contaminación atmosférica con dos orígenes, del tipo natural y del tipo antrópico (correspondiente a la combustión de recursos fósiles mayormente utilizados para el parque automotor y en menor grado proveniente de fuentes fijas como las provenientes de industrias, manufactura y minería. Por otro lado, hace mención a la degradación y pérdida de áreas verdes a través de la desertificación, el crecimiento continuo y desmesurado de la capa de concreto y asfalto, y la tendencia de la falta de áreas verdes en zonas urbanas expansiones urbanas en el crecimiento arquitectónico que tiene la ciudad.

Mediante una investigación realizada en Chile se hace mención que la captura de PM es un servicio ecosistémico de la vegetación urbana especie-específico debido a las características fisiológicas, químicas y morfológicas de la planta, afectando

significativamente su valor. La capacidad de retención depende principalmente de las características en la superficie de las hojas tales como tricomas, rugosidad superficial, capa de cera epicuticular, número de surcos y tricomas, pero no de la forma foliar y la venación de hoja ancha. Por su parte indican que el PM puede obstruir los estomas de las hojas afectando el intercambio gaseoso y alterando la actividad fisiológica de la planta (Egas et al, 2018).

Cabe recordar que, según la OMS (Organismo Mundial de la Salud), “se debe tener entre un aproximado de 1 árbol por cada 3 habitantes para poder mitigar y brindar mejor calidad al ambiente, asimismo demanda entre 10 y 15 metros cuadrados de área verde por persona para mejorar las condiciones de aire limpio y brindar condiciones de vida saludable” (Toharia, 2018). En un informe correspondiente al diario El País (2018) se hace mención de un estudio realizado en Canadá donde se detalla la importancia del arbolado urbano en las ciudades como es su énfasis en la calidad del medio ambiente repercutiendo la presencia de árboles en la salud humana y valor socio-económico. Del mismo modo se menciona la acción que se tiene con respecto a la protección ante frentes de vientos fríos actuando como barreras naturales y evaluado por un menor consumo energético en calefacción, y como reguladores de temperaturas logrando reducir hasta en 8°C la sensación de calor en los lugares con presencia de arbolado urbano.

2.2. Conceptos.

2.2.1. La atmósfera.

La atmósfera es el componente central del ecosistema. “Se caracteriza por tener baja densidad y presentar fácil movilidad siendo así inestable, pero es esencial para el equilibrio energético debido al control de la radiación solar que llega hasta la Tierra y la radiación liberada hacia el espacio”, además permite el pase del calor hacia el planeta. Se considera como el medio donde se manifiesta el clima, fenómenos y tiempo. Está compuestas por una combinación de partículas sólidas, líquidas y gases en suspensión los cuales se rigen por la fuerza de gravedad del planeta (Dextre Evangelista, 2016).

La atmósfera se encuentra conformada por:

- Polvo atmosférico: Conformado por elementos como cenizas, arena fina, polen, bacterias, polvos, aerosoles, etc.

Entre los gases, **figura 7**, tenemos:

- Nitrógeno (N_2): 78% total del aire. Es un gas inerte y de baja disolución en agua.
- Oxígeno (O_2): 21% total del aire. Es un gas reactivo que se combina con diversas sustancias. Gran agente oxidante. Permite la combustión y es de fácil disolución en agua.
- Dióxido de carbono (CO_2): 0.003% del total de aire. Gas producto de la combustión de combustibles fósiles y respiración biótica. Fácil solubilidad del agua.

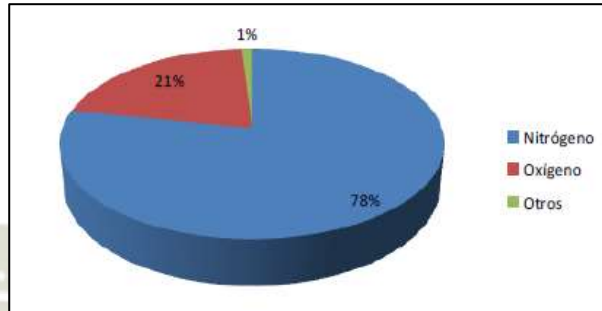


Figura 7: Composición de la atmósfera. Fuente: Fernández (2017).

Y en menor proporción tenemos:

- Gases nobles: Argón (Ar) con 0,93%; Kriptón (Kr) con 0,000114%; Neón (Ne) con 0,00182% y Helio (He) con 0,000524%.
- Hidrógeno (H)
- Metano (CH_4)

(Fernández, 2017).

2.2.2. Contaminación atmosférica.

Se define como la presencia de partículas, materias o formas de energía que represente un riesgo y generen disturbios o daños para las personas, el ambiente y bienes de cualquier naturaleza. Según el Decreto Supremo 074-2001-PCM se define como “sustancia o elemento que en determinados niveles de concentración en el aire genera riesgos a la salud y bienestar humano” (Soto, 2015).

Los contaminantes suelen medirse en partículas por millón (ppm) o en microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$).

Los contaminantes se pueden clasificar según su formación:

- Primarios: Foco emisor identificable y son emitidos directamente al ambiente. Entre los componentes tenemos los compuestos del azufre (SO_2 , SO_3 , H_2SO_4 , H_2S), óxidos de nitrógeno (NO , NO_2 , N_2O), óxidos de carbono (CO , CO_2), partículas en suspensión (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$) y metales pesados (Ni , Cr , Zn , Hg , Sn , Pb , etc.).
- Secundarios: Formados por reacciones químicas originados de forma natural en la atmósfera. Se forman a través de procesos como la contaminación fotoquímica (smog fotoquímico) y gases de efecto invernadero (a causa de su espectro de absorción de radiación infrarroja).

(Fernández, 2017).

Además, se pueden clasificar de acuerdo a la fuente de origen siendo esta de tres tipos:

2.2.2.1. Fuente móvil.

Conformado mayormente por las unidades automovilísticas que liberen gases de escape y desgaste de materiales como son de frenos y neumáticos producto del uso.

2.2.2.2. Fuente fija.

Conformado por las actividades residenciales e industriales que generen emisiones gaseosas producto de las actividades de quema de combustibles fósiles con fines de generación de calor, energía, vapor u otros procesos industriales. También se menciona las actividades agrícolas que generen quema de biomasa.

2.2.2.3. Fuente fugitiva.

Conformado por entidades que liberen emisiones no direccionadas a través de una tubería, chimenea u otro ducto hacia el exterior del sistema. Nos referimos a calles con y sin pavimentar, proceso de construcción y demolición, etc. El tipo de contaminante hace mayor referencia a partículas gruesas mayores a 2,5 micrómetros. También se asocia con la suspensión-resuspensión de polvos y erosión de rocas dependiendo de factores meteorológicos como humedad, precipitaciones y masas de vientos.

(MMA - Chile, 2012).

En la **tabla 2** se puede resumir las fuentes emisoras con ejemplos de actividades.

Tabla 2: Clasificación de fuentes emisoras.

Clasificación de fuentes emisoras			
Tipo	Contaminantes	Subtipo	Ejemplo de actividades
Fuentes Fijas	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO _x y NO _x	Areales	Calefacción residencial, quema agrícola e incendio forestal.
		Puntuales	Generación eléctrica, proceso industrial como combustión en calderas generadoras de vapor, fundición de cobre, etc.
Fuentes Fugitivas	PM ₁₀ , PM _{2,5}	Polvo resuspendido	Construcción de edificios, calles sin pavimentar, erosión eólica.
Fuentes Móviles	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO _x , NO _x y COV	En ruta	Buses, camiones, vehículos particulares – comerciales, taxis, motocicletas.
		Fuera de ruta	Maquinaria de construcción o agrícola, operación de puertos o aeropuertos.

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente de Chile – informe ambiental (2012).

2.2.3. Material Particulado.

“Es una mezcla de partículas sólidas microscópicas y gotas líquidas suspendidas en el aire (aerosoles), el cual se clasifica de acuerdo a su tamaño, en partículas con diámetro menor a 10 micras, 2.5 micras y 1 micra” (Pulgar-Vidal, 2014).

El material particulado está conformado por diversas partículas que varían conforme a su origen, formas, volumen, proceso de formación y composición química siendo factible su caracterización de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas. Las propiedades físicas influyen respecto al depósito y transporte de las partículas hacia diversos sistemas, entre ellos el sistema respiratorio; mientras que la composición química determina la forma de afectación e impacto (reacción) que ocasionaría sobre la salud y/o bienestar.

Existen diversas fuentes de emisiones de material particulado a la atmósfera siendo estas con origen natural y antropogénicas. Entre las del tipo natural por ejemplo se tiene el polvo resuspendido de superficies por acción del viento y erosión. Entre las del tipo antropogénico se tiene las generadas por unidades de transporte como son autos, aviones, barcos, etc., actividades relacionadas a la agricultura como maquinaria y quema, y actividades relacionadas al sector construcción. Las partículas que se emiten

directamente al medio ambiente se denominan “partículas primarias”, mientras que las que se forman en el medio (atmosfera) a partir de precursores gaseosos se denominan “partículas secundarias”.

El material particulado además se puede clasificar según sus propiedades aerodinámicas como son el transporte y remoción de partículas en la atmosfera, interviene en sus procesos de deposición dentro del sistema respiratorio y se ven asociadas conforme a la fuente y composición química. Dichas propiedades aerodinámicas se relacionan con el diámetro aerodinámico y este se define como el “diámetro de una esfera con las mismas características aerodinámicas que la partícula”. Esto demanda su muestreo, estudio y descripción sobre la base del tamaño de la partícula (Martin, 2005).

El tamaño puede variar en la atmósfera y tenemos las comúnmente denominadas:

2.2.3.1. Material Particulado de 10 micras, PM10.

Partículas con diámetro menor a 10 micrones o denominadas partículas gruesas. Por ejemplo, el polvo, polen, moho, etc.

2.2.3.2. Material Particulado de 2.5 micras, PM2.5.

Partículas con diámetro menor a 2,5 micrones o denominadas partículas finas. Por ejemplo, partículas de combustibles, componentes orgánicos, metales, etc.

(MMA - Chile, 2012).

La diferencia entre los dos tipos de material particulado se puede apreciar en la **figura 8**.

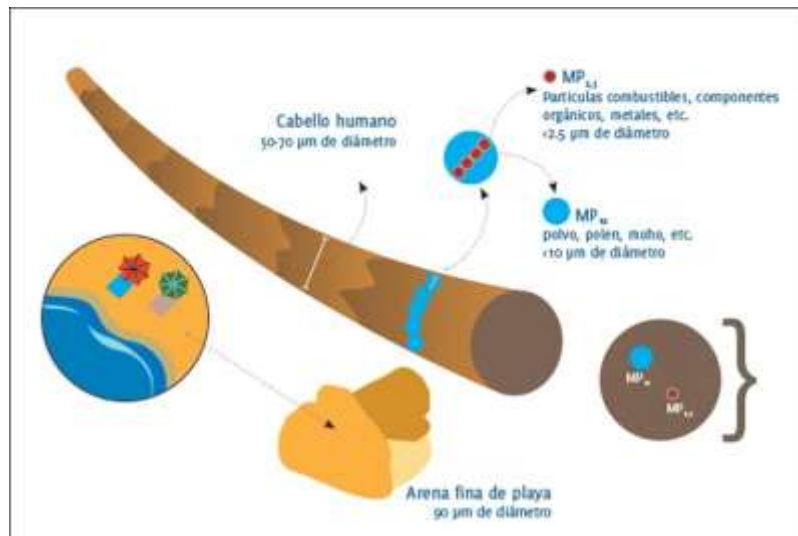


Figura 8: Diferencias entre PM10 y PM2.5. Fuente: Informe ambiental MMA - Chile-en base al sitio web EPA

2.2.4. Efectos en la Salud y Ambiente.

Uno de los contaminantes al que se relaciona altos índices de mortalidad y morbilidad es el material particulado. Su fracción fina se compone por diversas partículas de un tamaño lo suficientemente pequeñas para ingresar por las vías respiratorias hasta llegar a los pulmones, bronquiolos y alveolos; este riesgo se ve potenciado en población vulnerable que sufre de problemas cardiopulmonares, tanto en exposiciones de corto y largo plazo. Se puede observar los impactos generados por contaminantes según la **tabla 3** (MMA - Chile, 2012).

Entre los efectos más visibles de las partículas tenemos su afectación a la calidad del aire resultante en sus efectos ópticos (reducción y distorsión de la visibilidad). Las partículas de diámetro mayor a 1 micrómetro son capaces de interceptar y dispersar la luz. Las partículas solas o acompañadas representan un riesgo para la salud desarrollando efectos tóxicos por las siguientes maneras:

- Intrínsecas tóxicas debido a su carácter físico-químico propio
- Interferir con algunos mecanismos que despejan el aparato respiratorio.
- Actúa como conductor de una sustancia tóxica absorbida.

(Martos & Roncal, 2013).

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es una afección que la padece un aproximado del 10% de adultos desde 40 años a más y es considerada, según OMS,

como una de las principales causas de muerte a nivel mundial. Dicha patogenia se relaciona con partículas y gases nocivos, encontrándose diversos factores que contribuyen, además del tabaquismo, a su aparición y desarrollo. Entre los contaminantes atmosféricos, el PM10 suspendido representa uno de los compuestos más estudiados y se encontró asociación entre la enfermedad EPOC y la exposición a altas concentraciones de este compuesto (Santurtún et al 2017).

Tabla 3: Impactos generados por PM, O₃, SO₂ y NO₂.

Impactos generados por PM, O₃, SO₂ y NO₂	
Efecto	Descripción
Daño a la salud	Las partículas y compuestos emitidos al aire en ciertas concentraciones pueden producir efectos nocivos en la salud de las personas como, por ejemplo, la reducción de la función pulmonar, aumento de la susceptibilidad de contraer infecciones respiratorias, muertes prematuras y cáncer, entre otros.
Disminución en visibilidad	La presencia de partículas en el aire reduce la visibilidad causando una disminución en el bienestar y la calidad de vida.
Daño a materiales	El exceso de contaminación atmosférica puede causar daños en los materiales de construcción, alterando las propiedades físicas y químicas de los mismos.
Daño a ecosistemas acuáticos	Altas concentraciones de NO ₂ y SO ₂ pueden producir deposición ácida en el agua, modificando su composición y dificultando la supervivencia de especies acuáticas.
Daño en plantas y bosques	La deposición ácida en suelos puede alterar el crecimiento de plantas y árboles. Además el ozono y otras partículas pueden ingresar a través de los estomas de las plantas y dañar su estructura.

Fuente: Informe Ambiental del MMA-Chile (2012).

2.2.5. Hollín.

Se considera una combinación de diversos contaminantes, tanto primarios como secundarios, siendo algunos formados por interacción con factores como la luz solar generando smog fotoquímico u hollín. Entre los tres principales elementos para su formación tenemos la luz ultravioleta, gases de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno; y

entre las fuentes principales tenemos al parque automotor como el generador de dos de los tres elementos principales para la formación del hollín (Martos & Roncal, 2013).

2.2.6. Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

De acuerdo al Decreto supremo N° 003-2017-MINAM y al artículo 31 de la Ley, se define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como “la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente”. Así mismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que “el ECA es obligatorio en el diseño de normal legales y las políticas públicas y es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental” (MINAM, 2017).

La Autoridad Ambiental Nacional es el ente encargado de la elaboración y revisión de ECA y LMP (Límite Máximo Permissible), los cuales deben ser remitidos a la presidencia del Consejo de Ministros para su correspondiente aprobación a través de un Decreto Supremo.

“La aplicación de los ECA para Aire en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Aire se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial” (MINAM, 2017).

En la **tabla 4** se puede observar los ECA establecidos en la normativa peruana, sus valores, sus periodos, criterios de evaluación y métodos analíticos,

Tabla 4: Estándares de Calidad Ambiental para Aire-2017.

Estándares de Calidad Ambiental para Aire				
Parámetros	Período	Valor [µg/m ³]	Criterios de evaluación	Método de análisis ¹⁾
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) ²⁾	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder.
¹⁾ o método equivalente aprobado.
²⁾ El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo.

Fuente: MINAM – Perú.

2.2.7. Índice de Calidad Ambiental.

Conforme al documento Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM se tiene que “El Índice de Calidad del Aire (INCA) tiene un valor comprendido entre 0 y 100, el cual coincide con el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental de Aire... El INCA se divide en 4 categorías de calificaciones de la calidad del aire. La banda de color verde comprende valores del INCA de 0 a 50 y significa que la calidad del aire es buena, la banda de color amarillo comprende valores de 51 a 100 e indica una calidad moderada del aire; la banda de color anaranjado se encuentra comprendida entre los valores 101 y el valor umbral del estado de cuidado (VUEC) de cada contaminante, lo que nos indica que la calidad del aire es mayo al valor umbral del estado de cuidado del contaminante, a partir de este valor corresponde la aplicación de los Niveles de Estados de Alerta Nacionales por parte de la autoridad de Salud.” (MINAM, 2016).

La **tabla 5** muestra los valores del INCA con las 4 clasificaciones y colores utilizados para cada nivel.

Tabla 5: Tabla de Valores del INCA.

Valores del Índice de Calidad del Aire		
CALIFICACIÓN	VALORES DEL INCA	COLORES
Buena	0-50	Verde
Moderada	51-100	Amarillo
Mala	101-VUEC*	Anaranjado
VUEC*	>VUEC*	Rojo

*VUEC: Valor umbral del estado de cuidado

Fuente: RM N°-181-2016-MINAM.

La **tabla 6** muestra los valores para el cálculo del Índice de Calidad del Aire por PM10:

Tabla 6: Intervalo INCA y su ecuación en relación a la concentración de PM10.

Material particulado (PM10) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ecuación
0 – 50	0-75	$I(\text{PM10}) = [\text{PM10}] * 100/150$
51 – 100	76-150	
101 – 167	151-250	
>167	>250	

Fuente: RM N°-181-2016-MINAM

Y en la **tabla 7** se plasma los diversos métodos de cuidados y recomendaciones en base a la clasificación del INCA:

Tabla 7: Cuidados y Recomendaciones del INCA.

Cuidados y Recomendaciones del Índice de Calidad del Aire		
Clasificación	Cuidados	Recomendaciones
Buena	La calidad del aire es satisfactoria y no representa un riesgo para la salud	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre
Moderada	La población sensible (niños, tercera edad, madres gestantes, personas con enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares) podrían experimentar algunos problemas de salud	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre con ciertas restricciones para la población sensible
Mala	La población sensible podría experimentar problemas de salud. La población en general podría sentirse afectada	Mantenerse atento a los informes de calidad del aire. Evitar realizar ejercicio y actividades al aire libre.
Umbral de Cuidado	La concentración de contaminantes puede causar efectos en la salud de cualquier persona y efectos serios en la población sensible, tales como niños, ancianos, madres gestantes, personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas y cardiovasculares	Reportar a la Autoridad de Salud para que declare los Niveles de Estados de Alerta de acuerdo al Decreto Supremo N°009-2003-SA y su modificatoria Decreto Supremo N°012-2005-SA

Fuente: RM-N°181-2016-MINAM

2.2.8. Equipos de medición para monitoreo de aire.

2.2.8.1. Equipo Hi-vol

Es un equipo empleado para mediciones de calidad del aire mediante el proceso de succión de aire a través de una caja de muestreo con filtros los cuales son pesados previa y post operación para poder determinar el peso neto de lo captado. El volumen de aire total muestreado se determina mediante la velocidad promedio del flujo en relación al tiempo de muestreo. La división entre la masa obtenida con el volumen de aire muestreado da como resultado la concentración total de partículas aéreas. Existen dos tipos de muestreos: uno del tipo volumétrico (VFC) y del tipo másico (MFC) (Méndez, 2017).

2.2.8.2. Equipo Low-vol

Es un equipo empleado para muestrear calidad del aire mediante filtros de 47mm, con flujos que varían entre 1 a 25 litros por minuto y en un tiempo estimado de 24 horas. El filtro es pesado previa y post operación para hallar el peso neto acumulado. La relación entre la velocidad promedio de flujo y el tiempo de operación dan como resultado el volumen total de aire muestreado. La concentración de partículas se obtiene mediante la división entre la masa obtenida y el volumen de aire. Entre sus ventajas en comparación

a los High-vol es el tamaño del equipo siendo estos más fáciles de colocar, transportar, filtros más pequeños, son más económicos y emplean bajo consumo eléctrico; incluso se llegaron a complementar con el uso de paneles solares (Méndez, 2017).

2.2.9. Bioindicadores.

Se les conoce a las especies que presentan cierta vulnerabilidad a estresores ambientales. Tendrán diferente capacidad de respuesta, resiliencia, y diferente capacidad de adaptación a condiciones climáticas nuevas, o plasticidad. Esto se resume en “las especies con una capacidad de respuesta limitada ante los cambios del ambiente, serán las más vulnerables”. Con el fin de evitar monitoreos sistemáticos y de larga duración sobre los componentes biológicos y físicos de un ecosistema (poco práctico), para detectar las alteraciones que pueden afectar de forma negativa a las especies o ecosistema, y para establecer programas de gestión de mitigación con mayor eficiencia se busca emplear organismos sensibles frente a los estresores ambientales como un medio de indicador de los daños que estos estresores pueden generar sobre el ecosistema y su biota. Se define a los bioindicadores como “aquellas que por sus características (sensibilidad a las perturbaciones ambientales, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, entre otras) pueden ser usadas como estimadoras del estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas de medir directamente” (González et al, 2014).

El uso de plantas como bioindicadores de estrés ambiental representan una forma fácil y de económica para el monitoreo de contaminación atmosférica. Mediante la respuesta de daño foliar es la técnica más empleada que señala la respuesta de la especie ante la contaminación del aire. El criterio más empleado para determinar daños al follaje arbóreo es mediante necrosis y clorosis, así mismo pueden representar cambios en el espesor de la lámina, cambios en la superficie u cutícula adaxial y abaxial, y cambios en el mesófilo (Dineva, 2017).

Riquelme (2008) en base a diversos autores, realizó una síntesis de bioindicadores forestales y su potencial conforme al tipo de indicación que pueden brindar. Se puede observar en la **tabla 8**.

Tabla 8: Bioindicadores forestales de contaminación atmosférica.

Indicadores	Tipo de indicación
Anillos (Xilema) de <i>Cupressus macrocarpa</i>	Acumulación de Cd y Cr en anillos de crecimiento
Corteza de árboles de varias especies	Acumulación de polvo y/o el complejo de contaminantes con preferencia por gases ácidos
Hojas de especies de hoja grande como <i>Drimys sp.</i> y <i>Populus sp.</i>	Acumulación de polvo en hojas
Musgos	Reacción visible al complejo de contaminantes con preferencia por gases ácidos; acumulación de metales pesados.
Líquenes	Reacción visible al complejo de contaminantes con preferencia por gases ácidos (SO ₂), amoníaco y fluoruros; acumulación de metales pesados y radioactivos. También reaccionan visiblemente a los rayos U.V.
<i>Abies sp.</i>	Acumulación de S en acículas, medición de los efectos del O ₃ en los cloroplastos.
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Acumulación de HF.
<i>Eucalyptus sp.</i>	Reacción visible a los policíclicos aromáticos carbonados (PAC).
<i>Pinus sp.</i>	Reacción visible al SO ₂ y acumul. de PAC.
<i>Populus sp.</i>	Acumulación de polvo y SO ₂
<i>Prunus domestica</i>	Reacción visible por HF y metales pesados.
<i>Taxus baccata</i>	Acumulación de HF.
<i>Tilia sp.</i>	Acumulación de metales pesados.
Vegetales en general	Reacción visible al polvo.

Fuente: Riquelme (2008).

2.2.9.1. Árboles como bioindicadores.

Los árboles se han utilizado como bioindicadores o biomonitores debido a lo expuesto en la **tabla 9**:

Tabla 9: Tabla de consideraciones para uso de árboles como bioindicador.

Características como	Sus reacciones permiten
<ul style="list-style-type: none"> • Ciclo de vida. • Ubicuidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección e identificación temprana. • Evaluación del efecto biológico de factores ambientales.

Fuente propia en base a autor César Gonzáles et al (2014).

Según Gonzales et al (2014) su enfoque se basa en la aplicación de principios relacionados a la fisiología del estrés. Los árboles son empleados como una fuente de bioindicador debido a que:

- ❖ Son inmóviles.
- ❖ Son más sensibles a los humanos y animales.
- ❖ Son mejores reflectores de condiciones locales.

- ❖ Permite un registro de variaciones en calidad ambiental por la longevidad de sus tejidos.
- ❖ Reflejan efectos acumulados a lo largo de su ciclo de vida.
- ❖ Ofrece disponibilidad de muestras para bioensayos.
- ❖ Bajo costo de muestreo y operación.

Una de las aplicaciones empleadas de árboles para bioindicador es el uso de su follaje y sus características morfológicas. Esta característica permite identificar los daños ocasionados al funcionamiento y características de sus hojas por el estrés ambiental. Algunos contaminantes pueden reflejar cambios en coloración, necrosis, tamaño de las hojas o presencia de contaminantes (González et al, 2014).

2.2.9.2. Líquenes como bioindicadores.

El estudio de líquenes se puede emplear para monitoreos de contaminación atmosférica, tanto por reacción visible (síntomas visibles frente a una cantidad determinada de tóxicos) o como indicadores de acumulación (no muestran daños visibles, pero los acumulan en sus tejidos). Además, se pueden emplear para monitoreos pasivos (mediante análisis de indicadores en hábitats naturales) o para monitoreos activos (mediante introducción de especies desde un hábitat no contaminado a un área de observación que se presume contaminada).

Su potencial bioindicador data desde el siglo XIX; pero en 1960 se descubrió que el SO_2 era el principal factor que afectaba su bienestar, desarrollo y distribución. Con este hallazgo se catapultó el número de trabajos realizados empleando líquenes como bioindicadores. Así mismo son empleados para medir gases fluorados, lluvia ácida, amoníaco, nitratos, óxido de nitrógeno, ozono y peroxiacetilnitrato. También se emplearon para medir metales pesados y efectos de la radiación UV (Riquelme, 2008).

2.2.10. Estomas.

Los estomas son poros que se ubican en la superficie de los tejidos vegetales, su mayor concentración se encuentran en las hojas y en menor medida se encuentran en tallos u otros tejidos. Los estomas son rodeados de células guardias, parenquimáticas u oclusivas especializadas las cuales tienen función de regular el funcionamiento de los estomas en su actividad de intercambio gaseoso.

Los estomas presentan dos funciones principales:

- 1) Permite el intercambio gaseoso: liberación de oxígeno (O_2) y entrada de dióxido de carbono (CO_2).
- 2) Regulación del movimiento del agua mediante el proceso de transpiración.

A través del proceso de intercambio gaseoso se da el proceso de fotosíntesis en donde se emplea el dióxido de carbono y se genera glucosa y oxígeno como un subproducto. El proceso de transpiración llevado a cabo se realiza por la absorción del agua por las raíces y su translocación dentro de la planta mediante la xilema hasta su evaporación por los estomas, el cual genera un potencial hídrico promoviendo la absorción continua del agua.

Los factores ambientales generan cambios en el funcionamiento de los estomas. Las células guardia se encargan de la apertura y cierre de los estomas. En condiciones óptimas se mantienen abiertos permitiendo consigo el intercambio gaseoso. Para que funcionen las células guardia se emplea agua mediante el proceso de osmosis, dependiendo de la concentración de potasio en las células, a mayor concentración en las vacuolas se requiere mayor ingreso de agua provocando su crecimiento y turgencia, dejando los poros abiertos; en caso contrario para que se cierre el estoma se requiere menor concentración de potasio ocasionando el cierre del mismo por la célula. Como ejemplo se puede apreciar en la **figura 9** (Caballero & Roca, 2018).

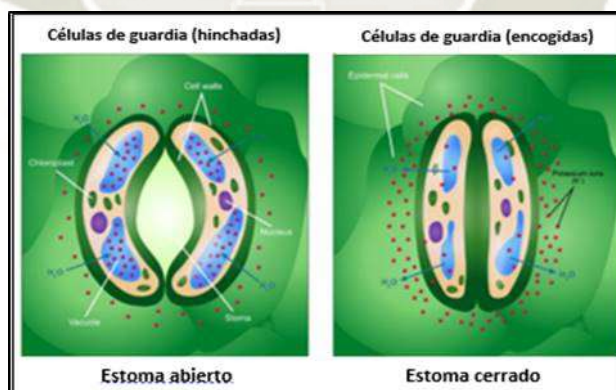


Figura 9: Gráfica de estoma y su funcionamiento. Fuente: Abbas Caballero y Elena Roca (2018).

Entre los factores ambientales que más influyen en el funcionamiento de los estomas tenemos: intercambio iónico, temperatura, luz solar, concentración de CO_2 , etc. “El cierre estomático producido en situaciones de estrés afecta negativamente al desarrollo de la planta, alterando la fotosíntesis, así como el transporte de agua y hormonal dentro de la planta. Este hecho desemboca en un desequilibrio hormonal, conllevando una parada del crecimiento” (Caballero & Roca, 2018).

2.2.11. *Morus alba*.

Clasificación taxonómica (Colque, 2014)

- Reino: Plantae
- Filo: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Urticales
- Familia: Moraceae
- Tribu: Moreae
- Género: *Morus*
- Especie: *Morus alba*



Figura 10: Árbol *Morus Alba*.
Fuente: Sánchez. (2014).

Morus alba, también conocido como por Morera o Mora, **figura 10**, es un árbol que pertenece al género *Morus*, familia de las moráceas. Son de origen asiático, en las zonas templadas. De características de tamaño pequeño a mediano, no suelen sobrepasar los 15m y pueden ser monoicos o dioicos. En sus primeros años son de rápido desarrollo, pero a medida que alcanzan la madurez su velocidad de crecimiento descende. (Colque, 2014)

Árbol caducifolio nativo de China. Su distribución se observa en diversas partes del mundo debido a un proceso de naturalización. La corteza del tronco es lisa al principio y de color marrón claro, con el paso del tiempo se torna fisurada y rugosa. “Sus hojas son alternas, de ovadas a ovado-oblongas, enteras u ocasionalmente con 3 lóbulos, de hasta 7 a 30 cm x 5 a 15 cm, con la base cordada o redondeada, el ápice agudo u obtuso y el margen toscamente dentado”; su textura es delgada y firme, glabras y de color verde claro, lustroso por el haz y volviéndose más pálidas con la presencia de pelos en las axilas de la prominente nerviación por el envés. Pecíolo delgado, ligeramente peloso de 1 a 3cm de largo (Sánchez, 2014).

La especie es considerada una buena planta para sumidero de carbono con alta absorción de contaminantes atmosféricos como cloro, fluoruro de hidrógeno y dióxido de azufre. Así mismo se recomienda para el desarrollo del cinturón verde en regiones industrialmente contaminadas por su valor estético y la capacidad de reducir contaminantes por retención (Dineva, 2017).

2.2.12. Cambio epigenético de especies vegetales

Se define a la epigenética como “el estudio de cambios heredables en la expresión y función génica que no pueden ser explicados por cambios en la secuencia de ADN. Siendo el estudio de los diferentes cambios hereditarios dentro de las pautas de expresión génica mediados por diferentes modificaciones de la secuencia nucleótida de un gen”. Hace referencia al estudio de las interacciones generadas entre el medio ambiente y los genes producidos en los organismos. Esto a medida que se interrelaciona los cambios y expresiones de los genes y fenotipos de las especies vegetales, afectando su evolución. El término Plasticidad Fenotípica se define como el “cambio observable en las características de un organismo en respuesta a una señal ambiental” esto puede significar que una especie puede presentar diferentes fenotipos alternativos y mantener un mismo genotipo. Dentro de las líneas de investigación que han generado los estudios de epigenética de las plantas tenemos los orientados a la relevancia ecológica y evolutiva de la epigenética, o sea, los cambios que presenta una especie natural frente a variaciones ambientales (Parejo-Farnés et al, 2019).

La deposición de partículas sobre la superficie foliar comúnmente afecta a los estomas obstruyéndolos y perturbando la fotosíntesis, de igual forma los contaminantes que ingresan a través de los estomas (partículas y gases) generando los mismos daños, ambos casos ocasionan disminución del crecimiento de la lámina y con ello reducción de la superficie foliar. Contaminantes como SO₂, NO₂ y O₃ inhibieron la fotosíntesis ocasionando problemas de disminución de área. Se toma en cuenta que la reducción del área es considerada un mecanismo de defensa disminuyendo el contacto con los contaminantes atmosféricos y mejorando la tolerancia de la planta, si los contaminantes superan los límites de tolerancia ocasiona en la planta modificaciones en su estructura foliar, crecimiento de planta y fotosíntesis. El aumento del grosor foliar y menor frecuencia estomática se relacionaría con una mejor adaptabilidad ante condiciones de estrés. La cutícula adaxial gruesa, pequeñas células con paredes celulares densa y suberizadas apoyan a la reducción de entrada de contaminantes. La cutícula abaxial gruesa es un mecanismo de protección ante impacto por gases (Dineva, 2017).

2.2.12.1. Epigenética del *Morus alba* ante contaminantes atmosféricos

Según estudios se evaluó aspectos de respuesta ambiental de la especie *Morus alba* ante la presencia de contaminantes atmosféricos obteniendo las siguientes apreciaciones:

- Alta tolerancia a la aparición de daño foliar mediante clorosis o necrosis.
- Baja reducción de la superficie de la lámina de la hoja.
- Aumento del grosor de lámina foliar en áreas contaminadas.
- No presenta un aumento del grosor de cutícula adaxial significativa.
- Disminuye el grosor de la cutícula abaxial.
- Reduce las cavidades de aire de la mesófila generando menor absorción de contaminantes y pérdida de agua.

(Dineva, 2017)

2.2.13. Servicios ecosistémicos

La definición de Servicios ecosistémicos “son los beneficios directos que los seres humanos reciben de los ecosistemas”. El enfoque en servicios ecosistémicos nos permite identificar las maneras directas e indirectas en que los seres vivos dependen del medio ambiente. Esta percepción puede apoyar significativamente la generación de políticas locales y la administración pública (Pacha, 2014) .

El concepto de servicios ecosistémicos cambia desde el concepto relacionado a la ecología y la valoración de los beneficios que ofrecen, denominándose servicios ambientales relacionados al suministro de bases para la producción de alimentos y bienestar humano, así como el correcto funcionamiento de los ecosistemas.

En el contexto global y de forma recién mediante el informe de ecosistemas del milenio – MEA plantea los servicios ecosistémicos como un marco referencial conceptual, metodológico y aplicativo a la toma de decisiones

En su definición de servicios ecosistémicos precisa “*Son los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad*” agrupándose en cuatro categorías:

1) Aprovechamiento

Bienes brindados por el ecosistema tales como alimentos, agua y aire limpio, recursos genéticos y forestales, etc.

2) Regulación

Son los beneficios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos los cuales intervienen en el clima, la calidad del aire y agua, atrapamientos de CO₂, fenómenos naturales, etc.

3) Culturales

Se definen como los bienes no materiales que los ecosistemas ofrecen como son el desarrollo y enriquecimiento cognitivo y espiritual, la reflexión y valoración, experiencias estéticas y de recreación.

4) Soporte o Apoyo

Relacionados a procesos ecológicos bases para la existencia y provisión de los diferentes servicios ecosistémicos que puede brindar el ecosistema. Estos pueden ser de producción primaria, formación de suelos y el ciclado de nutrientes.

(Caro & Torres, 2015)

Los diferentes conceptos de valoración y servicios ambientales – ecosistémicos que formulan diversos autores se puede resumir en la **tabla 10** mediante 3 enfoques: ecológico, económico y ecológico-económico.

Tabla 10: Evaluación del concepto de servicios ecosistémicos a través de enfoques.

Enfoque	Definición	Temas desarrollados
Ecológico	"un amplio rango de condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que hacen parte de ellos ayudan a sostener la vida humana"	Servicios públicos y ambiente global. Biodiversidad y conservación Bienes y servicios ecológicos. Servicios ecosistémicos y bienestar humano. Servicios ecosistémicos y cuantificación ecológica. Biodiversidad y Servicios ecosistémicos.
Económico	"Los servicios del ecosistema consisten en flujos de materiales, energía e información de reservas de capital natural que se combinan con los servicios de capital manufacturados y humanos para producir el bienestar humano"	Bienes y servicios ambientales Capital natural y bienestar humano. Capital natural y resiliencia Servicios ecosistémicos: son bienes públicos. Servicios ecosistémicos oferta (valoración ecológica) demanda (valoración sociocultural y monetaria).
Ecológico Económico	"los servicios ecosistémicos son los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad"	Funciones: regulación, hábitat, producción, información. Marco conceptual y metodológico de servicios ecosistémicos. Valoración de ecosistemas y servicios ecosistémicos - herramienta pragmática. Capital natural y servicios ecosistémicos: sostenibilidad. Gestión de la biodiversidad: garantía de servicios ecosistémicos.

Fuente: Caro & Torres (2015)

En la **figura 11** se aprecia una ejemplificación de los servicios ecosistémicos que nos brinda un bosque, ilustrando tipos de beneficios por servicios de provisión, regulación y culturales.

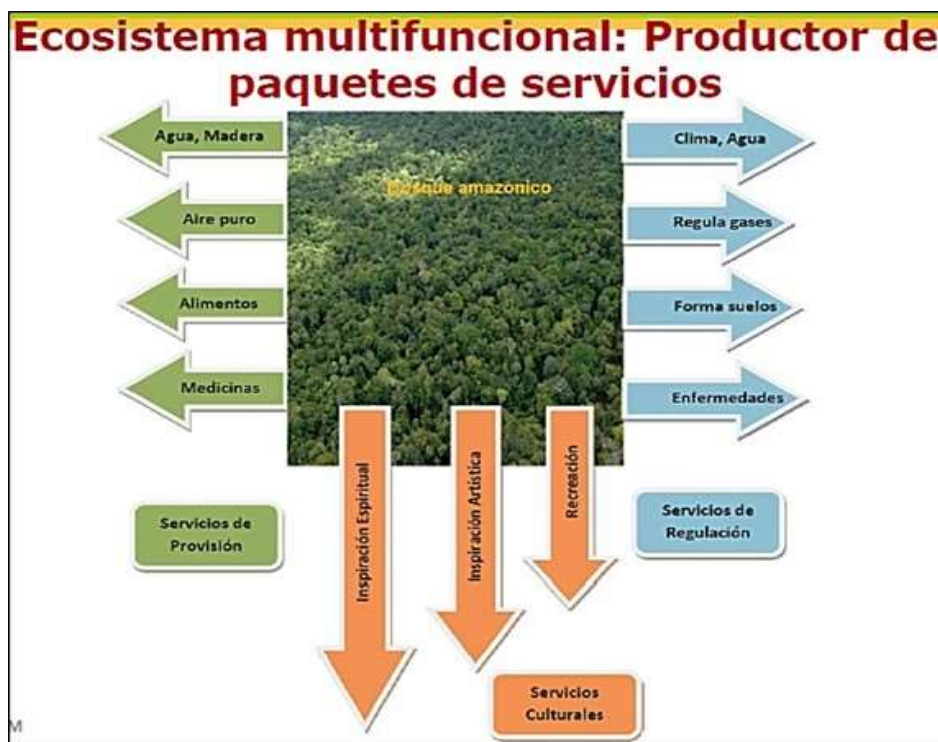


Figura 11: Ejemplo de categorías de servicios ecosistémicos. Fuente Codato et al, 2015

2.2.13.1. Captura de carbono

Considerado por su importancia tanto como sumidero y como fuente, el balance de carbono se puede distinguir entre el carbono almacenado en el ecosistema (árboles, vegetación, suelo y productos obtenidos) y el flujo de carbono que es la corriente de carbono entre las existencias de carbono contenido en el ecosistema y la atmósfera. El balance quedará definido por una diferencia algebraica entre el “sumidero de carbono” referido a la existencia del flujo neto de carbono desde la atmósfera al sistema, con la “fuente de carbono” que es el flujo en sentido inverso siendo desde el sistema hacia la atmósfera. La absorción neta de carbono por los ecosistemas terrestres es el resultado de la diferencia entre el carbono absorbido y el emitido a la atmósfera por cambios de uso de la tierra (Pardos J. , 2010).

El uso del suelo influye en los servicios ecosistémicos como son la conservación de la biodiversidad, aprovisionamiento de nutrientes, control erosivo y mantenimiento de la composición atmosférica. Los tres últimos mencionado se ven vinculados al porcentaje de carbono orgánico de la tierra. El secuestro de carbono que es la incorporación y mantenimiento del carbono atmosférico en el suelo impacta de manera favorable en los niveles de provisión de los servicios. Para que se cumpla la función de secuestro de

carbono es necesario que el balance de carbono, entre las entradas y salidas del mismo, deban resultar ser positivas. La productividad Primaria Neta o PPN, que es la entrada de carbono, se asocia al proceso de precipitación; mientras que la respiración, que es la salida de carbono, se asocia a la temperatura del sistema. Por este motivo, la acumulación de Carbono Orgánico del Suelo (COS) se correlaciona de forma positiva con la relación Precipitación/temperatura (Lattera et al, 2011).

En la **figura 12** se puede apreciar lo siguiente: “A nivel de la hoja, la fotosíntesis neta incluye: (1) difusión de dióxido de carbono a través de los estomas; (2) absorción de dióxido de carbono por enzimas en la fotosíntesis; (3) la liberación de dióxido de carbono por fotorrespiración; y (4) la liberación de dióxido de carbono por respiración. La fotosíntesis del ecosistema explica los primeros tres de estos procesos, mientras que la respiración de la hoja se combina con otros flujos de respiración autotróficos y heterotróficos para derivar la respiración del ecosistema.” (Way, 2019).

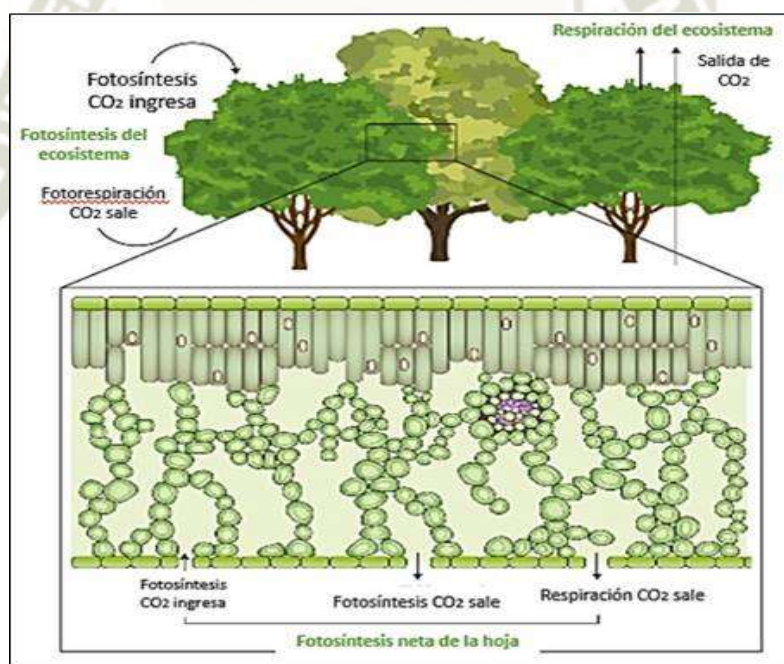


Figura 12: Comparación de los flujos de dióxido de carbono involucrados en la fotosíntesis de la red foliar y la fotosíntesis del ecosistema. Fuente Way, 2019

2.2.13.2. Importancia de usar modelos en valoración de servicios ecosistémicos

- Mediciones ex-situ e in-situ.
 - o Elevado costo monetario.
 - o En algunos casos llega a ser imposible su realización.

- Diferentes tipos de modelos.
 - Para estudiar y entender observaciones y procesos naturales, desarrollar y testar teorías, extrapolar observaciones, etc.
 - Necesario una capacidad de interpretación y experiencia profesional.
- Falta de veracidad.
 - Generalmente no dan con resultados exactos, pero son de gran utilidad.
- Necesarios para crear escenarios futuros.
 - Visión a futuro.

(Codato et al, 2015)

2.2.14. Bosques urbanos.

O también denominado “Infraestructura verde”. Se compone como una “red planificada de espacios naturales y seminaturales y otros elementos ambientales diseñados y gestionados para ofrecer una amplia gama de servicios ecosistémicos. Incluye espacios verdes o azules, si se trata de ecosistemas acuáticos, y otros elementos físicos en áreas terrestres”. En ciudades es una herramienta fundamental para la creación de oferta de bienes y servicios ambientales para sus habitantes, a la vez que contribuye a desarrollar una economía verde y sostenible. Para ello es necesario integrar procesos de planificación y ordenación del territorio.

“El funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas y la calidad de los servicios ecosistémicos dependen directamente de la riqueza y abundancia de las especies” (Tovar, 2016).

Diversos estudios realizados en el país de Chile mostraron los efectos negativos que puede generar la contaminación, a pesar del establecimiento de estrategias estatales desde 1997, el problema sigue siendo anual. Algunas medidas se enfocaron en la reducción y mejora tecnológica de las emisiones de fuentes estacionarias o móviles como son los vehículos. En otros países se empleó la vegetación urbana para mejorar la calidad del aire a través de la captación de los contaminantes funcionando como filtros naturales (intercepción de las partículas) transportadas por las corrientes de aire a través del follaje o por absorción mediante los estomas (Egas et al, (2018).

Un gran cambio es en el concepto de infraestructura verde urbana, el cual cambio de considerar las áreas verdes como zonas de recreo a considerarlas como espacios de naturaleza necesarios para un eficiente orden urbano; su concepto va más allá de

considerarse solo como zonas de recreo y paisajistas a considerarlas como proveedoras de funciones y servicios ecosistémicos. “La infraestructura Verde Urbana se concibe como una red interconectada y complementaria de espacios verdes urbanos que incluye a todos aquellos elementos destacados por su importancia ambiental, paisajística o patrimonial, así como sus correspondientes procesos y flujos ecológicos. Al integrarse en un mismo sistema, estos elementos cumplen, además de una importante función de organización del territorio urbano, un papel fundamental en la mejora de la calidad ambiental del medio urbano” (Tovar, 2016).

Colque (2014) considera que las ciudades generan un microclima denominado Islas Térmicas las cuales generan en un espacio diferentes condiciones ambientales a las de su alrededor. Estas podrían ser:

- Alteración de la radiación solar con un déficit de hasta 15% en horas de luz y aumento del albedo de las ciudades hasta un 12%.
- Velocidad del viento reducida hasta un 20%.
- Humedad relativa reducida hasta un 10% por la disminución de agentes que generen evapotranspiración.
- Menor retención del agua debido a la impermeabilización del terreno impidiendo recargas naturales de los acuíferos y generando cambio del uso del suelo.

La creación de áreas verdes en ciudades permitiría generar diferentes biotopos dentro del ecosistema urbano el cual permitiría ofertas ecológicas variables. Colque considera que los árboles mantienen una fuerte expresión dentro del desempeño ambiental de las ciudades expresando algunas funciones como motivo de su valoración ambiental. Estas son:

- **Amortiguación térmica:** Disminuyen la temperatura atmosférica y los efectos de islas de calor. El proceso se da a través de la evapotranspiración y la reducción del grado de albedo por las copas de los árboles. Las temperaturas pueden variar entre 0,6 y 1,3 °C.
- **Disminución de contaminación atmosférica:** La foresta se encarga de absorber el CO₂ de la atmósfera, también el SO₂, NO₂, etc. Estudios demuestran que también la foresta es capaz de retener material particulado y metales pesados producidos por las fuentes fijas-móviles en su actividad de combustión.

- **Reducción contaminación sonora:** Un cinturón de foresta, de aproximado 30 metros, puede ayudar a reducir los niveles de ruido hasta en un 50%.
- **Producción de oxígeno:** Mediante el proceso de fotosíntesis liberan oxígeno como un subproducto hacia el ambiente.
- **Brindar valor paisajístico:** Al reducir la reflexión e intensidad lumínica, también ayudan a ocultar vistas desagradables y complementan los diseños arquitectónicos.
- **Brindar valor natural:** Proporcionan hábitats naturales para las especies animales de vida doméstica y silvestre, brindan calidad de vida y placer a las personas. También son protectores de suelos al protegerlos de la erosión.

Un punto a añadir es el empleo de Especies No Foráneas en los planes de forestación, mantener y cuidar el legado biológico es una forma de cuidar el patrimonio natural, del mismo modo se evita modificaciones extremas al ecosistema (Colque, 2014).

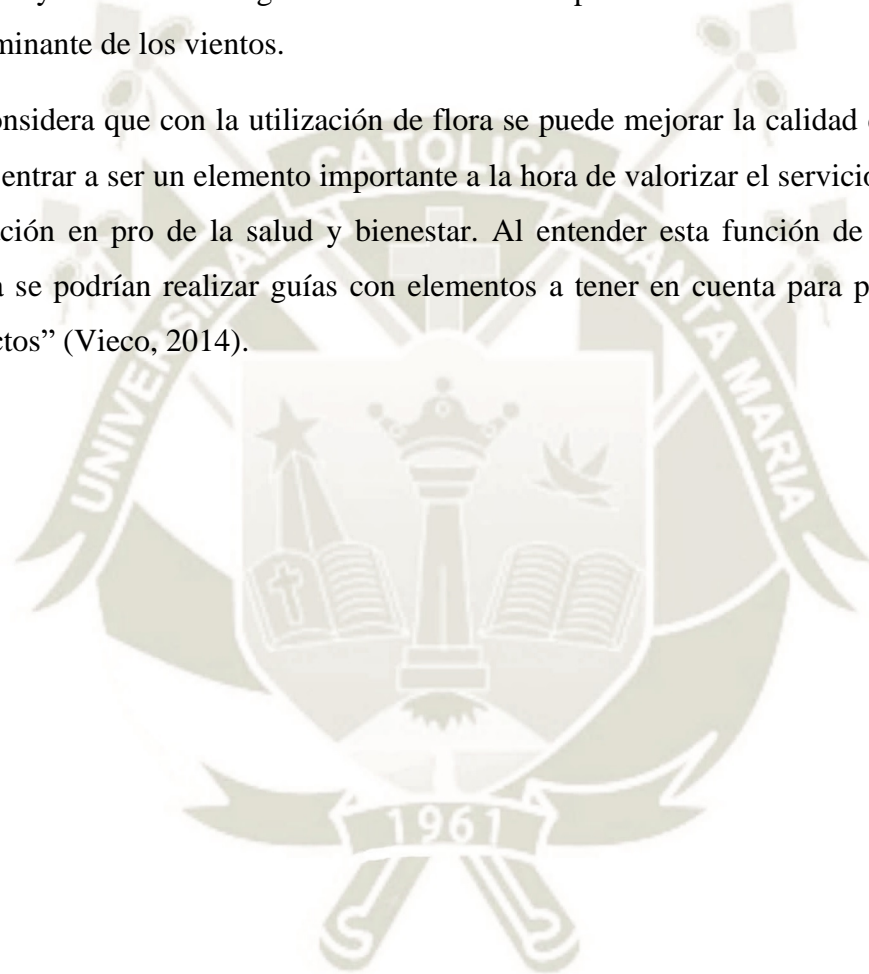
2.2.15. Retención del material particulado por el arbolado urbano.

La vegetación urbana cumple el servicio ecosistémico de retención de partículas empleando sus características fisiológicas, químicas y morfológicas de la planta, siendo estos afectados de manera significativa en su valor y calidad (Egas et al, 2018). La retención del material particulado hace referencia a la función ejercida por los árboles de actuar como filtros, reduciendo la cantidad de partículas dañinas, siendo retenidas por la superficie del árbol y su follaje como resultado de los efectos de la gravedad y estabilidad atmosférica. La cantidad de material depositado fluctúa según el tamaño de la partícula, por variaciones espaciales y temporales (Aponte, 2017). La capacidad de retención de partículas depende principalmente de las características morfológicas superficiales de la hoja como son la rugosidad, los tricomas, si presenta capa de cera epicuticular y el número de surcos (Egas et al, 2018). La forma y el diseño que conforman las hojas permiten una mayor captación y acumulación de las partículas sobre su superficie, esto debido a que hojas con pelos, excrecencias, exudaciones o relieves variados permiten mucho mejor la retención de partículas en comparación a hojas coriáceas, lisas y sin ceras protectoras. Del mismo modo, las hojas que presenten un peciolo largo y delgado atrapan menor cantidad de partículas en comparación a hojas con peciolo corto y grueso, esto debido al bajo movimiento ocasionado por el viento.

Otro factor importante a considerar es el área foliar, a una mayor área y número de hojas aumenta el porcentaje de retención de material particulado por el árbol (Aponte, 2017).

Un factor que influye indirectamente en la capacidad de retención de material particulado es la situación socioeconómica, debido a que, dependiendo de las actividades, varía el tipo y cantidad de emisiones de material particulado así como la cantidad y variedad de vegetación. Otro factor importante a considerar es la dirección predominante de los vientos.

“Se considera que con la utilización de flora se puede mejorar la calidad del aire y esto puede entrar a ser un elemento importante a la hora de valorizar el servicio que presta la vegetación en pro de la salud y bienestar. Al entender esta función de la vegetación urbana se podrían realizar guías con elementos a tener en cuenta para planear nuevos proyectos” (Vieco, 2014).



Capítulo III: Metodología

3. Procedimientos

3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo no experimental con enfoque cuantitativo y cualitativo debido a la falta de acciones experimentales conforme a los agentes bioindicadores empleados

3.2. Campo de Verificación

3.3.1 Lugar de Ejecución

La ejecución de la investigación se realizó en tres sectores correspondientes a la ciudad de Arequipa. El primero fue en el distrito de Paucarpata en espacio correspondiente al Gobierno Regional de Arequipa, el segundo en el distrito de Uchumayo en espacio correspondiente al centro de salud del Pueblo Joven Cerro Verde y el tercero en el distrito de Yura en espacio correspondiente al centro de salud de Ciudad de Dios. La segunda etapa conforme al análisis de las hojas por microscopio óptico se realizó en los laboratorios de la Universidad Católica de Santa María, las tomas de hojas en microscopía electrónica se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María y en los laboratorios de geología de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de la ciudad de Tacna.

3.3.2 Ubicación espacial

El punto de muestreo del distrito de Paucarpata se encuentra ubicado en inmediaciones del Gobierno Regional de Arequipa, av. Kennedy con calle Union, Paucarpata, Arequipa. El punto de muestreo del distrito de Uchumayo se encuentra ubicado en inmediaciones del centro de salud del Pueblo Joven Cerro Verde, calle Condorama, s/n, Uchumayo, Arequipa. El punto de muestreo del distrito de Yura se encuentra ubicado en inmediaciones del centro de salud de Ciudad de Dios, KM14, comité 10, Manzana F, Lote 1, Ciudad de Dios, Arequipa. La ubicación de los laboratorios empleados de la Universidad Católica de Santa María se encuentra en la urb. San José s/n, Yanahuara, Arequipa; y los laboratorios de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en av. Miraflores, s/n, Miraflores, Tacna.

3.3.3 Unidades de estudio

Se tuvo como principales unidades de estudio las hojas de *Morus alba*, sus estomas y material particulado PM10 atmosférico

3.3. Población, muestra

- a) Ubicación de zonas de equipo para muestreo de calidad atmosférica.
- ♣ Ubicación punto de monitoreo de calidad atmosférica en el distrito de Paucarpata.



Figura 13: Zona de estudio ubicado en Sede del Gobierno Regional



Figura 14: Mapeo de la Sede del Gobierno Regional

Sede Gobierno Regional

Paucarpata

Calle Unión, 101, Arequipa.

Coordenadas UTM:

19K

232184.00 m E

8182800.00 m S

♣ Ubicación punto de monitoreo de calidad atmosférica en el distrito de Yura



Figura 15: Frontis del Centro de Salud Ciudad de Dios

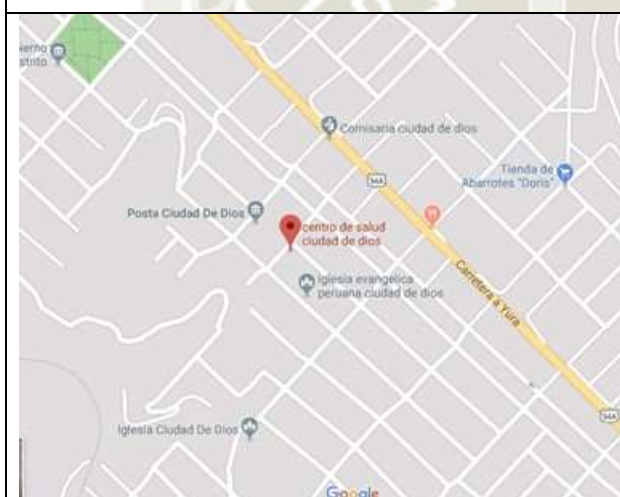


Figura 16: Mapeo del Centro de Salud Ciudad de Dios

*Centro de Salud
Ciudad de Dios*

Yura

KM 14, Comité 10, Manzana F, Lote 1, Ciudad de Dios, Arequipa.

Georreferenciación:

19K

220056.00 m E

8195486.00 m S

♣ Ubicación punto de monitoreo de calidad atmosférica en el distrito de Uchumayo



Figura 17: Frontis del Centro de Salud Cerro Verde



Figura 18: Mapeo del Centro de Salud Cerro Verde

**Centro de Salud
Cerro Verde
Uchumayo**

Calle Condoroma, S/N, Uchumayo,
Arequipa.

Georreferenciación:

19K
220804.00 m E
8179370.00 m S

Las zonas de muestreo fueron escogidas debido a la presencia de estaciones de monitoreo Low Vol administrados por la Gerencia Regional de Salud y por la presencia del árbol *Morus alba* o Mora en zonas cercanas a dichas estaciones.

b) Selección de los agentes bioindicadores.

La selección del agente bioindicador se basó en diversos factores como:

- Se encuentre en ideales condiciones de crecimiento, sin daño alguno o alteración por agentes biológicos y un crecimiento apto.
- Buena cobertura foliar, con hojas desarrolladas.
- Se ubique en las inmediaciones del punto de muestreo.
- Se pueda tener acceso a la especies.
- Esté expuesta directamente al ambiente, evitando ambientes controlados.

Además, después de la selección, se realizó procedimientos administrativos (cartas o solicitudes) a las municipalidades o entidades encargadas de su cuidado para evitar actividades de poda. A esto se elaboró un modelo de letrero, se puede observar en la **figura 26**, indicando que el árbol es objeto de estudio, con motivo de informar a la población y trabajadores de su uso en el proyecto.

3.4. Diagrama de flujo de actividades

El diagrama de flujo de la presente investigación se muestra en la **figura 19**:

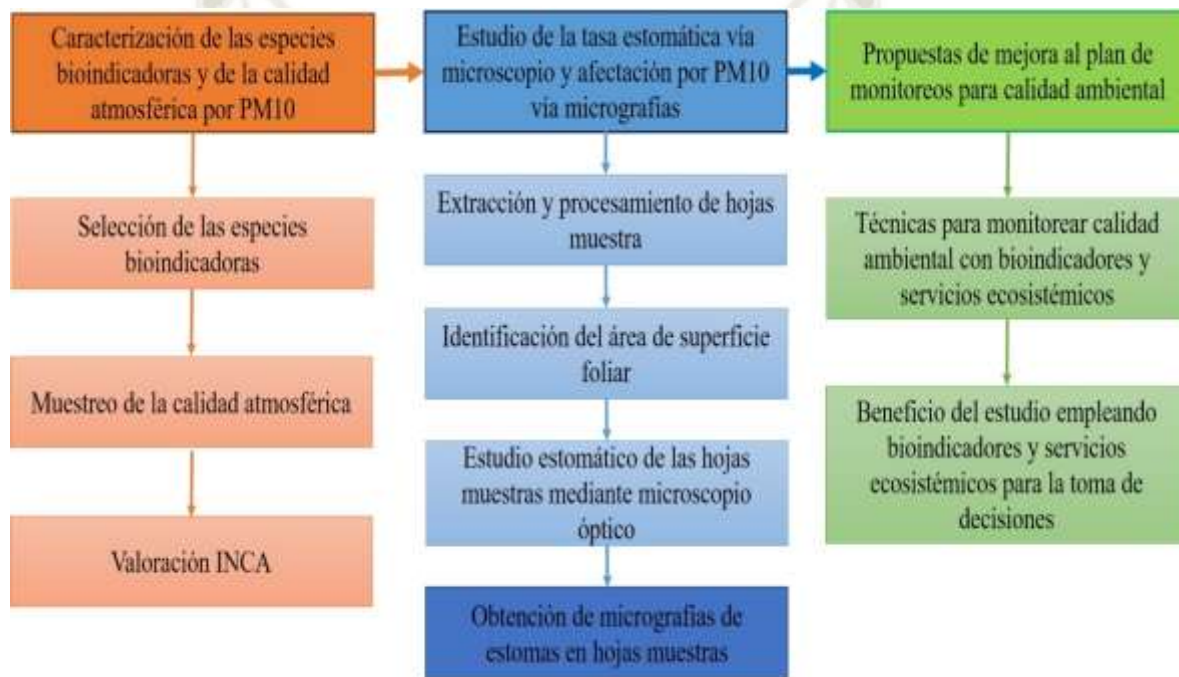


Figura 19: Diagrama de flujo de la investigación

3.5. Metodología Experimental

3.5.1. Evaluación de las condiciones del agente bioindicador y cuantificación de las concentraciones de PM10 presentes en las zonas de estudio en comparación a los ECA.

a. Selección de la especie bioindicadora.

Se realizará una breve evaluación a las condiciones de desarrollo del árbol de Mora que será empleado para la investigación como agente bioindicador. A esto se añade factores como si presenta frondosidad en su copa arbórea, no esté podado o presente daños repentinos o recientes, no presente daños por otros agentes biológicos externos como

animales o parásitos, esté en un estado de crecimiento con hojas cercanas al tamaño 4 (consideradas de un área similar a la palma de una mano adulta), y se respetará las condiciones de riego y cuidado brindados tanto por encargados de mantenimiento del distrito o entidades públicas. Un punto a considerar es el estado fenológico de la planta, si este presenta frutos o no.

b. Muestreo de calidad atmosférica.

El muestreo de calidad de aire se siguió conforme lo estipulado en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos, 2005, de la Dirección General de Salud Ambiental. Para ello la Gerencia Regional de Salud empleo extractores de aire, compuestos por un impactador Harvard Low Vol y una bomba de aire, ubicados en casetas de metal con una altura mayor a 1.5 metros. Se empleó un filtro de membrana (celulosa) para la retención del PM10 durante la extracción de aire. El muestreo se realizó en coordinación con técnicos respectivos del área de monitoreo de calidad ambiental de la propia Gerencia Regional de Salud. Las zonas de monitoreo son establecidas conforma a criterios de evaluación y facilidades técnicas. Estas se ubican en puntos de alta visita y concentración poblacional y/o instituciones del estado ubicadas en zonas de elevada contaminación observable (hospitales, postas de salud, instituciones públicas como municipios o GRA, etc.) Entre los puntos definidos tenemos: Gobierno regional de Arequipa GRA, Centro de Salud Ciudad de Dios, Centro de Salud Pueblo Joven Cerro Verde, Municipalidad provincial de Arequipa y Posta de Salud de Socabaya; siendo los tres primeros los escogidos para el caso de estudio.

c. Traslado y análisis de filtros.

El traslado de los filtros de celulosa empleados se realizó en una placa Petri, rotulada, y dentro de un sobre con sujetador, esto con el fin de evitar cualquier disturbio o alteración del filtro empleado. Cabe mencionar que los filtros son pesados antes y después de cada monitoreo como parte de su función. Los filtros fueron llevados a un laboratorio de gravimetría donde se procesaron empleando una balanza analítica y se emplea el cálculo para la concentración del contaminante el cual se basa en la división de la masa obtenida entre el volumen de muestra, el cual se halla mediante la multiplicación del flujo del equipo por el periodo de muestreo específico.

$$[PM] = \frac{(W_f - W_i) * 10^6}{V_{std}}$$

Ecuación 1: Concentración de PM

Donde “Wi” es el peso del filtro pre-uso limpio (g), “Wf” es el peso del filtro muestreado (g), “10⁶” es el factor de conversión para µg y “Vstd” es el volumen de aire muestreado (m³).

Para hallar “Vstd” es necesario hallar el Caudal de muestreo “Qstd” y el Volumen de aire para lo cual tenemos:

$$Q_{std} = Q_c * \frac{P_a}{P_{std}} * \frac{T_{std}}{T_a}$$

Ecuación 2: Caudal estándar

Donde “Qc” es el caudal de muestreo (L/min) siendo para high-vol (1.13 m³/min) y para low-vol (16.67 L/min o 1 m³/hora), “pa” es la presión ambiente (mmHg), “Ta” es la temperatura ambiente (K), “Pstd” es la presión estándar (760 mmHg) y “Tstd” es la temperatura estándar (293.15 K).

$$V_{std} = Q_{std} * t$$

Ecuación 3: Volumen estándar

Donde “Qstd” es el caudal estándar (L/min) y “t” es el tiempo de monitoreo (min).

Dicho procedimiento va en relación al Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos, 2005, de la Dirección General de Salud Ambiental y según Méndez, 2017.

d. Evaluación mediante el Índice de Calidad Ambiental (INCA).

Se empleó las tablas y fórmulas de evaluación del índice de calidad ambiental conforme a la Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM con el fin de determinar y brindar una valoración a la concentración de PM10 en base a intervalos, y con ello reconocer recomendaciones dadas por el Ministerio del Ambiente.

3.5.2. Evaluación de la tasa estomática del bioindicador *Morus alba* en relación a la concentración de PM10.

i. Extracción de hojas muestra.

Se extrajo una cantidad de hojas (preferencia del tamaño 4) destinadas para cada muestreo dependiendo del tipo de metodología a aplicar:

- ♣ Se extrajo 20 hojas para el análisis de área foliar del agente bioindicador.
- ♣ Se extrajo 3 hojas por muestreo (realizado con una periodicidad de cada 15 días calendario) para el análisis bajo microscopio óptico. El total será de 21 hojas por cada zona siendo 63 como el máximo de hojas a procesar durante el tiempo de muestreo.
- ♣ Se extrajo 2 hojas cada quincena de mes para el análisis bajo microscopía de barrido. Este método difiere al empleado en la extracción anterior debido a condiciones de calidad de muestras manejadas en la investigación, conforme a las indicaciones definidas por el Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María

Todas las hojas fueron cortadas mediante el uso de tijeras en su peciolo. Se empleó guantes (preferencia quirúrgico-desechable) para sujetar las hojas desde el peciolo y colocarlas entre hojas de papel Kraft tamaño A4, todo dentro de un sobre de manila rotulado con la fecha y ubicación de la muestra (Zúñiga et al, 2006).

ii. Determinación del área foliar.

El empleo de las 20 hojas será con un tiempo de espera no mínima a 1 día ni máximo a 5 días después de la extracción, se colocó sobre un pliego de papel Kraft y en un ambiente de calor no abrasivo, esto significa que no se emplearon rayos solares ni el funcionamiento de estufas. El secado fue lo más natural posible sin presencia de corrientes de viento, se colocó otra capa de papel Kraft y un leve peso con el fin de evitar malformación de hojas, pero sin forzar a su extensión. Luego se realizó el fotocopiado y escaneado de las hojas. Las fotos fueron empleadas en los procedimientos de determinación de área foliar siguientes:

◆ Método Gravimétrico

Se empleó un juego de hojas impresas (fotocopiadas). Se recortaron las hojas de papel de forma que la imagen esté lo más definida posible, Se realizó lo mismo con las 20 hojas de Mora de cada distrito. Además, se cortó un cuadrado de un área conocida (3cm x 3cm) con el mismo papel empleado en las fotocopias. Se procedió al pesado de las 20 hojas en conjunto y luego del cuadrado de papel (por separado) en una balanza de alta sensibilidad (preferencia balanza analítica) y se registraron los pesos. Luego se realizó una ecuación en donde se compara el peso y área del cuadrado de papel con el peso de las 20 hojas para determinar el área correspondiente. Este procedimiento se realizó en cada muestra de árbol de Mora por sector (Zúñiga et al, 2006).

◆ Método por software IMAGEJ

Se empleó un juego de hojas impresas y se escanearon para obtener las imágenes de las mismas (preferencia formato jpeg). Mediante el software se pudo hallar el área que conforma la imagen de la hoja de Mora en relación a una longitud conocida, para ello se adjuntó en las imágenes una regla y se delimitó una longitud equivalente a 5cm en cada toma, además se tuvo que ajustar la resolución de la imagen a un equivalente de 8-bit. Los resultados de área obtenidos se copiaron y se registraron en una tabla para obtener el área total por árbol de Mora (Egas et al, 2018).

En la **Figura 20** se ejemplifica el funcionamiento del software IMAGEJ con las muestras de hojas.

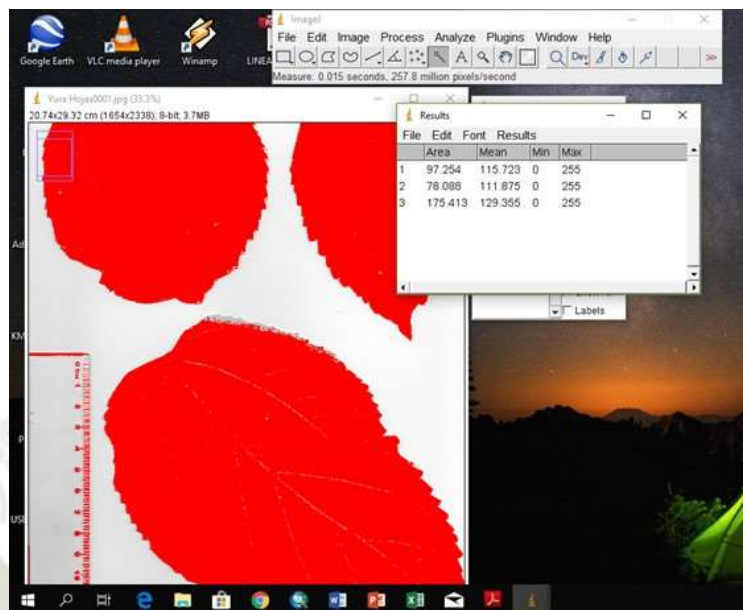


Figura 20: Ejemplo del funcionamiento del software IMAGEJ. Fuente propia

Los resultados se extrapolaron para dar un referente al total del árbol siguiendo un porcentaje del 5% o aproximado dependiendo de la estimación de la copa del árbol (Zúñiga et al, 2006).

iii. Estudio estomático de hojas muestra por microscopio óptico.

Las hojas recolectadas cada 15 días fueron procesados lo más pronto posible para evitar que el tejido vegetal presente resequeadad o mayor dificultad para el análisis de la cutícula vegetal. Se seleccionó 3 zonas de la hoja siendo el ápice, medio y la base para la obtención de muestras según la **figura 21**.

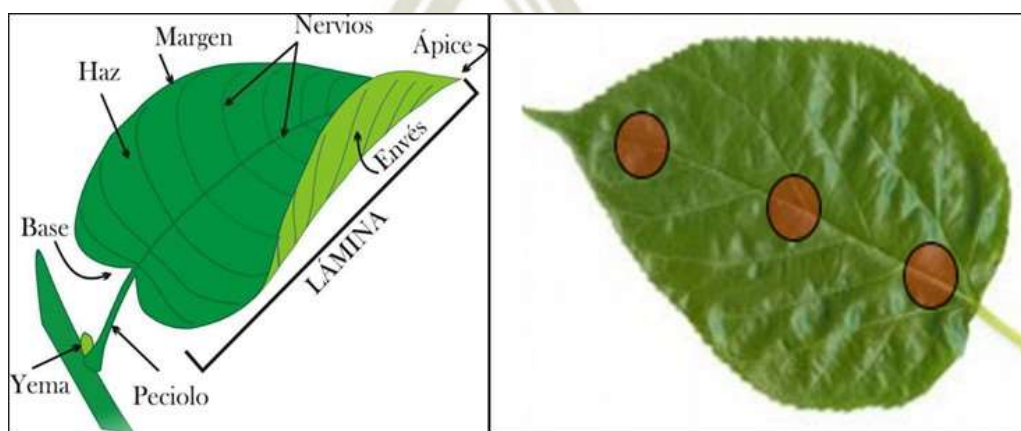


Figura 21: Partes de la hoja y zonas de extracción de cutícula. Fuente propia con imágenes en Google.

Se procedió a realizar un raspado leve para retirar la epidermis del has y dejar la epidermis del envés con un espesor fino el cual se empleó en la visualización de los estomas a través de la luz del microscopio óptico, para ello se empleó un bisturí y si la hoja presenta gránulos de tierra o sedimentos se empleó una brocha fina (de maquillaje) para retirar el exceso y evitar daños en las epidermis vegetales. Se colocó la epidermis en un portaobjetos y se cubrió con una laminilla cubreobjetos. Se añadió una pequeña gota de glicerina para ayudar a fijar la hoja y el cubreobjetos a la lámina portaobjetos, tal como se muestra en la **figura 22**, también se pueden emplear aceites especiales pero su costo será mayor. Luego se recubrió los costados del cubreobjetos con esmalte transparente para fijar y sellar la muestra.



Figura 22: Fotografía de muestras de hojas preparadas para análisis por microscopio óptico. Fuente propia.

Para su transporte se empleó una caja organizadora de diversos compartimientos y se empleó algodón compactado o tecnopor para sujetar las láminas de forma vertical. Las láminas se codificaron y analizaron una por una empleando el microscopio marca Acuscope a una mira de 40X sumado con un aumento óptico del ocular de 16X obteniéndose un área de estudio equivalente a $1,6040 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ o $16040 \mu\text{m}^2$. Se contó el número de estomas presentes en cada vista y será una cantidad de 10 tomas de manera aleatoria conforme a cada muestra siendo 10 tomas en el ápice, 10 en el medio y 10 en la base obteniéndose un total de 30 tomas por hojas. Si analizamos 3 por cada zona sería 90 por cada muestreo y al ser 3 localidades de muestreo el total por día de muestreo sería de 270 tomas. El total de tomas analizadas será de 1620 imágenes, se podrá observar en el **Anexo 9** la tabla de los datos obtenidos. Estos datos serán procesados a través del software estadístico “STATISTICA 10.0” para analizarlos

mediante ANOVA y empleando la prueba de TUKEY ($p < 0,05$) posteriormente (Zúñiga et al, 2006).

3.5.3. Determinación de la forma de afectación por PM10 en morfología y la tasa estomática del agente bioindicador, *Morus alba*.

a. Obtención de micrografías de estomas en hojas muestra.

El estudio se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María y en los laboratorios de geología de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de la ciudad de Tacna. Se empleó dos hojas extraídas en cada quincena de mes y se colocaron secado natural sobre papel Kraft y sin agentes la presencia de agentes abrasivos durante 7 días como mínimo, tampoco se empleó peso alguno o se recubrió con otro material, esto como recomendación de técnicos del laboratorio como medida para una adecuada metalización de hojas y obtención de resultados deseados. Se evitó quitar o remover la materia acumulada en las hojas de Mora, su traslado fue en cajas y asegurando evitar agitación o libre desplazamiento de muestras. Se realizó metalizado de oropaladio y se analizó en microscopio de barrido con alcances de 500X, 1000X y 2000X. La totalidad de las micrografías se registraron de acuerdo al **anexo 17, 18 y 19** (Colque, 2014).

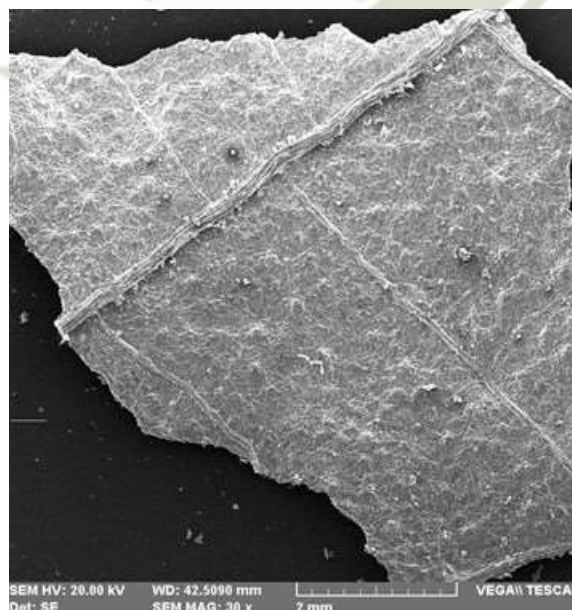


Figura 23: Micrografía de muestra metalizada de hoja de *Morus alba* con aumento de 30X. Fuente propia en base al laboratorio de la Universidad nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna.

3.5.4. Propuestas de alternativas de mejora al plan de monitoreos para calidad ambiental con especies bioindicadoras.

a. Técnicas para monitorear calidad ambiental con bioindicadores y servicios ecosistémicos.

Se describió las siguientes técnicas y estrategias como propuestas para mejorar la metodología de monitoreos de calidad ambiental conforme al empleo de especies arbóreas como bioindicadores y servicios ecosistémicos que estos pueden medirse y brindar.

- **Propuestas de foresta:** Empleando información de varios autores e instituciones, se elaboró un resumen de especies arbóreas recomendadas según origen, adaptación hídrica a sequias y a climas soleados para tener como referente en metodologías de monitoreo de calidad ambiental.
- **Monitoreo de PM por árboles:** Se propone el empleo de foresta arbórea para la retención de material particulado, técnica empleada por retención de partículas en la superficie del follaje de los árboles (Aponte, 2017; Vieco, 2014). Así mismo se tiene la propuesta realizada del monitoreo mediante evaluación de la tasa estomática en especies arbóreas bioindicadoras (Egas et al, 2018; Colque, 2011).
- **Estudio de calidad atmosférica por líquenes:** Técnica empleada para monitorear el Índice de Biodiversidad Liquéncia (tanto de una unidad arbórea como de una estación de monitoreo) y establecer el grado de contaminación atmosférica (Riquelme, 2008).
- **Captura de carbono:** Técnica para estimar la cantidad de captura de carbono por la vegetación en un área determinada. (Latterra, et al, 2011).
- **Modelación de Servicios ecosistémicos mediante software:** Técnica de modelamiento empleando software como InVEST y SolVES para la obtención de mapas e información sobre los servicios ecosistémicos (Codato et al, 2015).

b. Beneficio de estudios empleando bioindicadores y servicios ecosistémicos para la toma de decisiones.

Se detalló tanto experiencias en proyectos como mecanismos que sirvieron y propusieron para mejorar aspectos desde el punto de vista técnico, social, político y

planes de acción conforme al cuidado en materia ambiental de los servicios ecosistémicos que nos brinda la naturaleza. Se consideró el trabajo de organizaciones como la WWF y estudios en la materia de beneficios por servicios ecosistémicos y estudio por bioindicadores (Pacha, 2014).

3.6. Materiales y equipos.

Materiales

- Filtros de Celulosa.
- Placas Petri.
- Tijeras.
- Sobre de manila o bolsas de papel.
- Papel Kraft.
- Guantes Quirúrgicos.
- Bisturí.
- Brocha.
- Portaobjetos.
- Cubreobjetos.
- Glicerina.
- Esmalte transparente.
- Cinta Maskingtape.
- Lapicero.
- Regla.
- Caja organizadora.
- Algodón o tecnopor.

Material Biológico

- ♣ Hojas de Mora (*Morus alba*).

Equipos

- Impactador “Harvard” Low-Vol.
- Balanza analítica “Sartorius-CP-225D”.
- Microscopio óptico “Acuscope”.
- Microscopio de Barrido del laboratorio de Análisis de calidad de la UCSM y de la Universidad Jorge Basadre Grohmann de Tacna.



Capítulo IV: Resultados y discusiones

El siguiente capítulo está referido a la obtención de resultados de la metodología y procesos aplicados, así como la discusión de los datos obtenidos en comparación a un referente y una apreciación de los mismos.

4.1. Evaluación de las condiciones del agente bioindicador y cuantificación de las concentraciones de PM10 presentes en las zonas de estudio en comparación a los Estándares de Calidad Ambiental.



4.1.1. Selección y ubicación de la especie bioindicadora en relación al punto de monitoreo.

La selección del agente bioindicador se basó en los siguientes puntos:

- Cercanía al punto de muestreo de calidad atmosférica.
- Presente buenas condiciones de crecimiento y desarrollo.

Las especies escogidas se encuentran en los siguientes puntos establecidos:

Leyenda

-  : ubicación del árbol bioindicador.
-  : ubicación del equipo de monitoreo

Zona de Paucarpata



Coordenadas UTM: 19 K, 232189.00 m E, 8182818.00 m S.

Figura 24: Ubicación espacial del agente bioindicador del sector de Paucarpata.

Zona de Uchumayo



Coordenadas UTM: 19k, 220772.00 m E, 8179323.00 m S.

Figura 25: Ubicación espacial del agente bioindicador del sector de Uchumayo.

Zona de Yura



Coordenadas UTM: 19K, 220066.00 m E, 8195484.00 m S.

Figura 26: Ubicación espacial del agente bioindicador del sector de Yura.

4.1.2. Evaluación de concentración de PM10 en las zonas de estudio.

Conforme a la data obtenida por la GERESA se obtuvo los siguientes niveles de contaminación por PM10 de la ciudad de Arequipa:

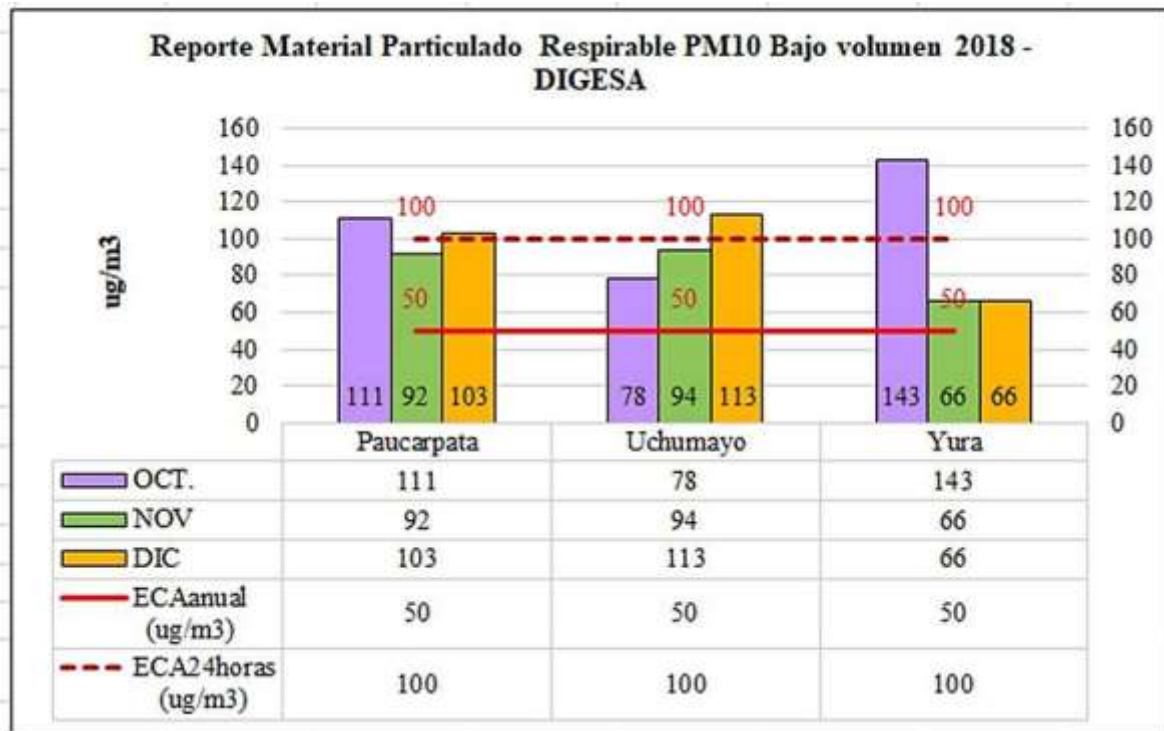


Figura 27: Reporte Material Particulado Respirable PM10 de Bajo Volumen 2018 -DIGESA de los meses y zonas de evaluación propuestos. Fuente propia en base a data de la Gerencia Regional de Salud – Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental.

La **figura 27** nos muestra a detalle cómo fue el comportamiento de la calidad atmosférica en los puntos de muestreo de la ciudad de Arequipa. Se considera concentraciones de PM10 en barras y los ECA establecidos en líneas de color rojo.

Una observación general es que todos los sectores superaron el ECA anual ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) siendo los meses de octubre y diciembre los que registraron una mayor concentración de contaminación superando del mismo modo el ECA de 24 horas establecido ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

En la zona de **Paucarpata** se observa que la contaminación presentó una curva conforme al paso de los meses empezando con una pendiente de caída seguido por un crecimiento en el nivel de contaminación, todo manteniendo una concentración cercana a los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El PM10 resulta sobrepasar el ECA permitido indicándonos que la zona se mantiene contaminada y representa un posible peligro para la salud pública.

En la zona de **Uchumayo** se observa un crecimiento continuo de las emisiones de PM10 llegando a sobrepasar los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El aumento de las concentraciones puede hacer referente un posible incremento de actividades emisoras de PM10 así como a un mayor tránsito automovilístico. Esto indica que la zona se podría clasificar como posible daño a la salud pública en caso no se tomen medidas para disminuir las concentraciones de PM10 registrados.

En la zona de **Yura** se observa un descenso en las emisiones de PM10 registradas estableciéndose un valor de $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este descenso se podría considerar como un punto a favor en comparativa a los otros sectores debido a que fue el único que registro una disminución notoria en la concentración de PM10, esto puede deberse a un cese en actividades emisoras de contaminante como un posible disminución del parque automotor debido a actividades urbanísticas (asfaltado y arreglo de pistas). Cabe recordar que la zona de Yura se caracteriza por una baja masa verde debido a las condiciones geográficas y el constante crecimiento urbano cercano a la estación de monitoreo. A pesar de su descenso, sigue sobrepasando el ECA a lo cual se exhorta a seguir mejorando con los controles y actividades reductoras de contaminación atmosférica.



Analizando otros trabajos realizados en la ciudad de Arequipa, y en mayor énfasis en las zonas de monitoreo, la municipalidad de Uchumayo mediante un estudio de “monitoreo de calidad de Agua, Aire y Ruido realizado en Congata – Arequipa” por la empresa contratista Consultoría & Monitoreo Perú S.A.C. en abril del 2016 registró, mediante el empleo de 5 puntos de monitoreo de aire, concentraciones menores al ECA establecido en dicho año ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en comparativa al actual ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diario y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anual). El estudio se realizó en 5 días hábiles del 6 al 10 de abril. Los resultados obtenidos fueron concentraciones en un rango de $73.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta $49.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo estos datos cuestionables debido al poco tiempo de monitoreo al que se le destinó. Un mayor rango de evaluación brinda datos más relevantes sobre las condiciones ambientales en que se encuentra la localidad siendo apropiado tomar o generar un historial de mediciones. La investigación realizada obtuvo valores mayores de concentración en comparación con la consultora deduciendo un aumento de factores que degradaron la calidad ambiental y con ello elevando los niveles de contaminación atmosférica siendo el tope registrado de $113 \mu\text{g}/\text{m}^3$ superando al ECA ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diario y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anual).

Fernández (2017), realizó el estudio “Caracterización de material particulado y plomo en el distrito de San Juan de Siguan – Arequipa” realizó monitoreos y obtuvo resultados con valores de PM10 por debajo al ECA diario ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a excepción de dos ocasiones en que supero el estándar con valores de $106.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $184.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aduciendo a una menor humedad relativa propia de meses de verano provocando una mayor resuspensión y transporte de material particulado. Este resultado es comparable a nuestra investigación en la ciudad de Arequipa debido a que se realizó en meses en que no hubo precipitaciones provocando un tiempo seco, esto puede influir en el aumento de los niveles de contaminación debido al aumento de resuspensión de partículas y poca acción de lavado por humedad. Además, Fernández (2017) evaluó en base a distancias con respecto a la zona de derrumbe estableciendo valores mayores en lugares alejados (2km al origen) que, en el punto de derrumbe, esto se puede interpretar al accionar del viento como agente transportador y de los procesos de coagulación-gravimétricos de las partículas. En nuestro proyecto se considerarían condiciones diferentes con respecto a los puntos de monitoreo; la ubicación del distrito de Paucarpata se consideraría metropolitana, la gran cantidad de edificios, menor área verde, asfaltado y poca presencia de montículos de tierra evitarían una dispersión natural por acción del viento, pero tendrían focos más continuos de contaminación por el gran nivel de parque automotor y sus emisiones. Las zonas de Uchumayo y Yura se caracterizarían por presentar ambientes más despejados y con menor número de automóviles en comparación a Paucarpata, a lo que se deduce podría generarse una contaminación más de origen natural provocado por la quema de pastizales, erosión y resuspensión de partículas por acción del viento y otras actividades como movimientos de tierra y construcción. Cabe mencionar que en la zona de Uchumayo se estaban realizando actividades de construcción de un colegio cercano al punto de monitoreo y la construcción de carreteras y veredas en el distrito de Yura.

Además, si relacionamos los valores que se obtuvieron en los monitoreos realizados de octubre a diciembre con las directrices de calidad de aire de la OMS se tiene que en la zona de Paucarpata hubo un aumento del 204% promedio de las partículas PM10 por metro cubico (relación medible), en la zona de Uchumayo se tuvo un aumento del 190% promedio y en Yura un aumento de 183% promedio, todos superando los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ horarios de la OMS.

Conforme a los datos obtenidos se dispuso realizar una evaluación INCA para tener como referente y se dispuso la siguiente tabla:

Tabla 11: Intervalo INCA aplicado a la Concentración de PM10 registrado en los muestreos de los distritos de Paucarpata, Uchumayo y Yura.

Intervalo INCA aplicado a la Concentración de PM10 registradas				Ecuación
INCA	Paucarpata	Uchumayo	Yura	$i[PM10] = [PM10] * (100/150)$ Ecuación 4: Fórmula INCA
Octubre	74	52	95	
Noviembre	61	63	44	
Diciembre	69	75	44	
Leyenda  Moderada: Población sensible podría experimentar problemas de salud.  Buena: Calidad del aire satisfactoria				

Fuente: propia

El **anexo 10** y la **tabla 11** nos indican una deducción promedio sobre el estado de las zonas de estudio conforme a la concentración de PM10 registradas y su posterior conversión a valores del INCA. Este dato nos refleja que la mayoría de zonas de estudio presenta un riesgo “moderado” (color amarillo) para la población sensible y solo la zona de Yura presentaría niveles de contaminación bajos (color verde), estos datos se pueden observar en las **tablas 5, 6 y 7**.

En un ambiente diferente al departamento de Arequipa tenemos la investigación de Soto (2015) “Determinación de la calidad del aire por material particulado (PM10), en una vía pavimentada (av. Antonio Maya de Brito) y una vía no pavimentada (av. Colonización) en el distrito de Manantay, provincia de Coronel Portillo – Ucayali” donde obtuvo que ambas zonas de estudio se caracterizaron por un índice INCA de “urgencia” con valores superiores a los $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo un aproximado de 2.5 veces más al ECA establecido en dicho tiempo ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En la actualidad sería un aproximado a 4 veces más al ECA diario ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 8 veces mayor al ECA anual ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Soto dedujo que en la vía sin pavimento tuvo como principal fuente generadora a la resuspensión de partículas por acción vehicular, en cambio, en las vías pavimentadas se debería a un mal estado del parque automotor. Estos resultados son semejantes a la forma en que la

ciudad de Arequipa sufre de una baja calidad atmosférica, no tan elevada en comparación a Ucayali, pero sí en las fuentes fijas y móviles que generan la contaminación atmosférica. Los resultados obtenidos fueron de situación “moderada” lo cual afectaría mayormente a población vulnerable como son personas con problemas de salud, niños, ancianos, embarazadas, etc. A pesar de las diferencias, no deja de ser un medio para evaluar la situación de contaminación mediante el uso de reportes de monitoreo y que se tomen medidas para velar por el bien y la salud pública integral de toda la ciudadanía. Soto, además, constató que el accionar de lluvias sería beneficioso para el ambiente al actuar como factor de lavado en la atmosfera, siendo un punto similar al deducido por Fernández (2016). Una época seca podría elevar los casos de problemas provocados por acumulación de material particulado en el ambiente ocasionando daños en el bienestar y salud de la población.

Santurtún et al (2017) analizaron la relación de EPOC con la exposición a PM10. Su modelo señala que por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aumento en la concentración de PM10, se incrementa el porcentaje de urgencias en un 3.34% (en personas adultas mayores de 74 años incrementa un 3.75%), así mismo se señala que cuando las concentraciones de PM10 sobrepasan las directrices de la OMS ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se atienden un 18.5% más de pacientes con EPOC. Esta situación en comparación a los análisis realizados en Arequipa representaría un riesgo para la salud de las personas. La normativa peruana permite en los ECA de aire valores de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en media anual y $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en media diaria los cuales superan a las directrices de la OMS en un 250% y 200% respectivamente, y si relacionamos el grado de afección con el estándar ECA peruano y el valor umbral de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se tiene un 16.7% más de ocurrencias en el incremento de urgencias que se puede suscitar en la población. El Perú todavía tiene que trabajar en seguir disminuyendo las concentraciones que supervisa los ECA.

4.2. Evaluación de la tasa estomática del bioindicador, *Morus alba*, en relación a la concentración de PM10.

Conforme al estudio de los agentes bioindicadores que son los árboles de Mora, se tiene lo siguientes resultados:

Tabla 12: Área foliar promedio en cm^2 del envés de las hojas de *Morus alba* en los distritos de Paucarpata, Uchumayo y Yura.

Zona	Área foliar (cm^2) de 20 hojas con software IMAGEJ
Paucarpata	97.9045
Uchumayo	97.35265
Yura	100.61915

Fuente: Propia

Considerando el tamaño del árbol y su desarrollo se planteó una extrapolación del 3% o 5% a un 100% equivalente a la totalidad del árbol. Considerando valores de 3% para Paucarpata y Uchumayo; y un 5% para Yura.

Se puede tener un total de área foliar (has y envés) para el sector de Paucarpata de 3263.48 cm^2 , para Uchumayo una cantidad de 3245.09 cm^2 y para Yura un total de 2012.383 cm^2 . Estos resultados se basan en la apreciación del tamaño del árbol bioindicador utilizado.

Conforme a lo expresado por Aponte, 2017, se tiene la relación del área foliar con el desempeño de las especies arbóreas para servicios de retención de partículas y eficiencia biológica. Aplicando esta información, en nuestro estudio se caracterizó una respuesta estomática conforme a la presencia de partículas. Paucarpata y Uchumayo presentan especies de gran desarrollo foliar, las cuales actuaron con mayor servicio de intercepción de partículas, el caso de Yura se ve una variación casi nula en la tasa estomática y con ello una baja respuesta de intercepción de partículas del ambiente.

Conforme al análisis de las hojas de *Morus alba* en microscopio óptico se obtuvo los siguientes resultados según la **figura 28**:

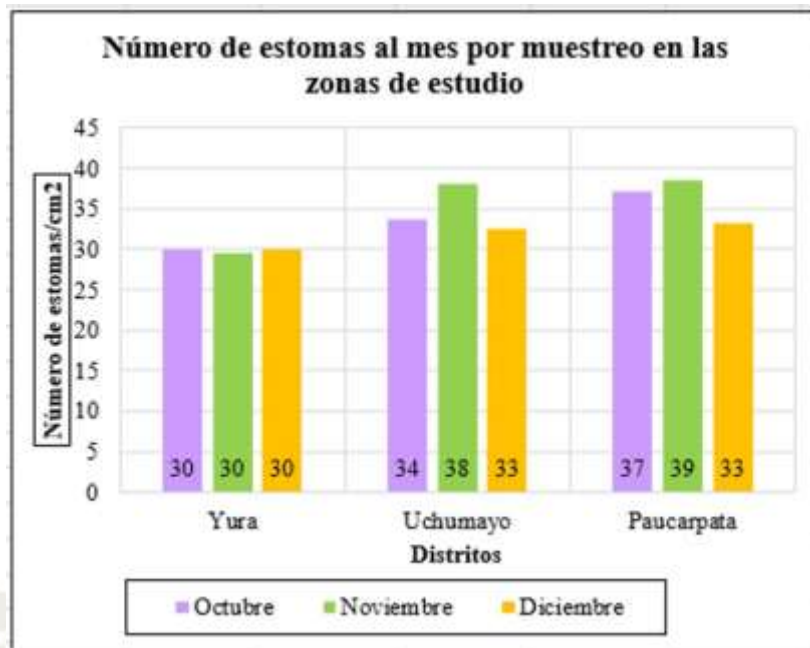


Figura 28: Número de estomas identificados mediante muestreo por microscopio óptico en los distritos de Paucarpata, Uchumayo y Yura. Fuente propia.

- ✚ Paucarpata: La cantidad de estomas promedio contados en las repeticiones de muestras de hojas hacen referente a una variación no muy relativa entre los meses de muestreo (octubre, noviembre y diciembre). En la **figura 28** se observa una caída con respecto a meses anteriores siendo que estaba mejorando su tasa estomática, esto puede indicar la acción de factores que estén alterando el normal desarrollo de la especie.
- ✚ Uchumayo: La cantidad de estomas promedio presenta una variación de curva. Esto puede indicar una leve recuperación de la especie; pero no fue suficiente debido a que volvió a un estado igualitario conforme al primer mes. Estos valores nos dan indicio de factores que pueden estar alterando el normal desarrollo de la especie.
- ✚ Yura: La cantidad de estomas promedio se mantiene en el mismo nivel conforme el avance de los meses. En comparación a los otros lugares de estudio, la cantidad es baja indicando una especie con un posible cuadro de estrés en su desarrollo lo cual limita su normal desarrollo y funcionamiento.

4.2.1. Paucarpata

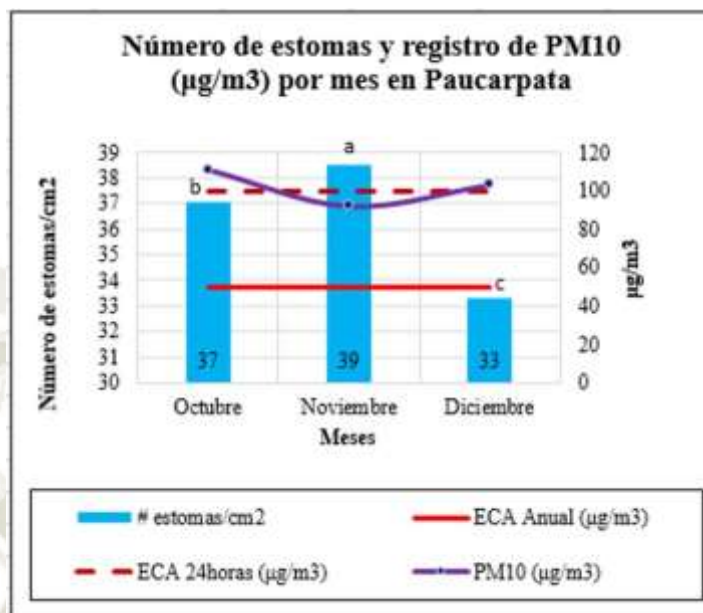


Figura 29: Número de estomas con los niveles de contaminación por PM10 por mes evaluado en el sector de Paucarpata. Fuente propia.

Conforme a la **figura 29**, se aprecia un descenso en la tasa estomática haciendo concordancia con un aumento del nivel de contaminación por PM10. La curva nos indicaría que en el mes de noviembre la especie demostró una mejora respecto al descenso en la contaminación; pero conforme el aumento de las emisiones por PM10 se demostró una caída en el promedio estomático. La especie demostró cambios los cuales se puede deber a la presencia del contaminante que está generando alteraciones en su correcto funcionamiento.

Tabla 13: Prueba de ANOVA para el número de estomas en los meses de octubre, noviembre y diciembre del sector de Paucarpata.

ANOVA	SS	GL	SM	F	P	si(p<0.05)="**"
Meses	2622,5	2	1311,20	102,61	0,000000	*
Error	6862,5	537	12,8			

Fuente propia.

Tabla 14: Prueba de TUKEY para el número de estomas en los meses de octubre, noviembre y diciembre en el sector de Paucarpata.

Prueba de TUKEY		
Meses	Promedio	Significancia
Noviembre	38.50556 ± 3.4341	a
Octubre	37.07778 ± 4.2760	b
Diciembre	33.28333 ± 3.2012	c

Fuente propia.

Se realizó un ANOVA donde se evidencia la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$) en un campo de observación de $1.6040 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ con respecto al promedio del número de estomas en los meses de evaluación. El resultado nos da a conocer la desigualdad entre los promedios obtenidos. El mes de noviembre obtuvo el mayor promedio estomático (38.5056 estomas por campo de observación) mientras que el mes de diciembre se sitúa como el mes de menor promedio estomático registrado (33.2833 estomas).

Egas et al (2018), encontraron diferencias estomáticas tanto de densidad como morfológicas en sus especies evaluadas, cita que este cambio en el número estomática (densidad) como en su tamaño, es una reacción de la planta para defenderse mejor de la absorción de contaminantes, pero que también puede aumentar la obstrucción y reducir su fotosíntesis y por lo tanto su crecimiento. El cambio en el registro estomático de nuestra especie evaluada evidencia un proceso de resiliencia ante los factores ambientales que pueden estar dañando su normal desarrollo. Se observó un descenso estomático conforme al paso del último mes de evaluación asociándose ante un aumento de contaminación. La caída podría indicar que las condiciones son adversas y pueden estar dañando las partículas a su tasa estomática trayendo cambios en su morfología, crecimiento y funcionalidad.

4.2.2. Uchumayo

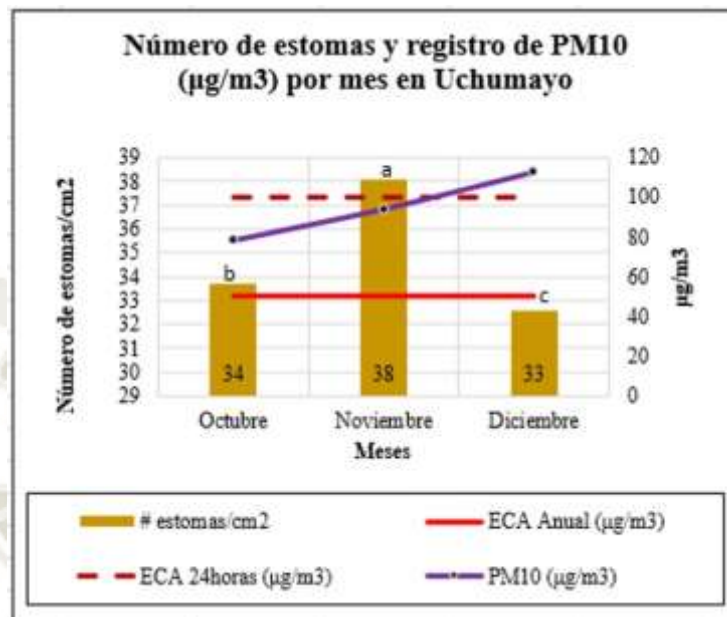


Figura 30: Número de estomas con los niveles de contaminación por PM10 por mes evaluado en el sector de Uchumayo. Fuente propia.

Conforme a la **figura 30** se observa el total de la evaluación conforme al sector de Uchumayo. La especie bioindicadora demostró una pronta mejora, pero no fue suficiente para soportar los agentes estresores al que fue expuesta viéndose reflejado en el aumento y descenso de la tasa estomática registrada. La contaminación se vio incrementando conforme el paso del tiempo lo cual indicaría la afectación al medio ambiente y sus posibles consecuencias pueden verse reflejadas en el análisis.

Tabla 15: Prueba de ANOVA para el número de estomas en los meses de octubre, noviembre y diciembre del sector de Uchumayo.

ANOVA	SS	GL	SM	F	P	si(p<0.05)="**"
Meses	2993,0	2	1496,50	87,07	0,000000	*
Error	9229,8	537	17,2			

Fuente propia.

Tabla 16: Prueba de TUKEY para el número de estomas en los meses de octubre, noviembre y diciembre en el sector de Uchumayo.

Prueba de TUKEY		
Meses	Promedio	Significancia
Noviembre	38.03889 ± 3.5554	a
Octubre	33.73889 ± 5.3549	b
Diciembre	32.56111 ± 3.2012	c

Fuente propia.

Se realizó un ANOVA donde se evidencia la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$) en un campo de observación de $1.6040 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ con respecto al promedio del número de estomas en los meses de evaluación. El resultado nos da a conocer la desigualdad entre los promedios obtenidos. El mes de noviembre se ubica como el de mayor promedio estomático (38.0389 estomas) mientras que el mes de diciembre se sitúa como el mes de menor promedio estomático (32.5611 estomas).

El cambio en el registro estomático evidencia un proceso de resiliencia del agente bioindicador ante los factores ambientales que pueden estar dañando su normal desarrollo. Se observa una mejora seguida de un descenso en el promedio estomático conforme al paso de los meses y se asocia con un aumento progresivo de la contaminación en la zona. La caída en el número de estomas podría indicar que las condiciones son adversas y pueden estar las partículas dañando su tasa estomática. Este se puede ver reflejado en cambios en su morfología y capacidad fotosintética según lo estipulado por Egas et al, 2018.

4.2.3. Yura

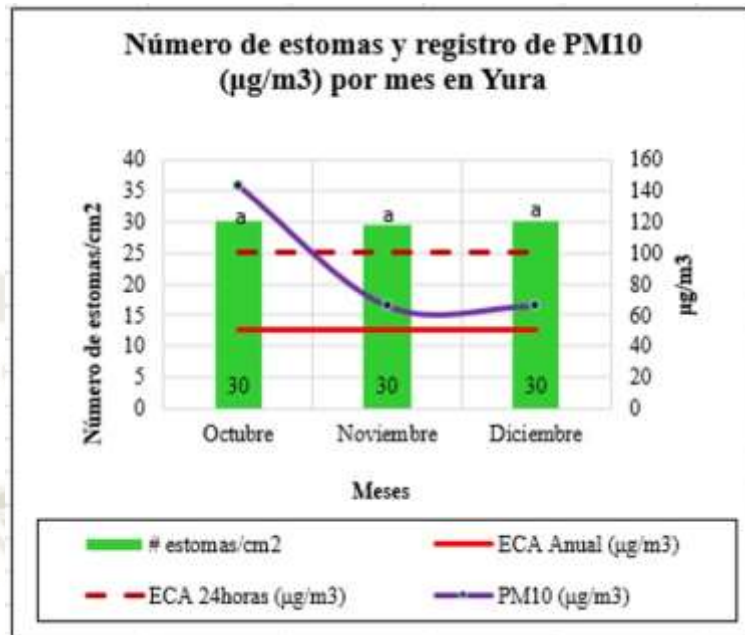


Figura 31: Gráfica del número de estomas con los niveles de contaminación por PM10 por mes en el sector de Yura. Fuente propia

Conforme a la **figura 31** se puede observar el total de la evaluación realizada al agente bioindicador en el sector de Yura. El nivel estomático se mantiene conforme al paso del tiempo de evaluación. Esto nos puede dar indicio de una nula interacción de la especie bioindicadora con respecto al medio o un estado de baja funcionalidad, eficiencia, estrés, etc. siendo este reflejado en la poca actividad de la especie. El nivel de contaminación decreció siendo este un impulso para la generación de cambios; pero no se verificó una variación alguna. Estos datos nos pueden servir para diagnosticar la situación de la foresta urbana en el sector de Yura reflejando una baja actividad y posible situación de estrés biológico de las especies. Para ellos se recomendaría realizar más exámenes para verificar su bajo rendimiento, evaluar diversos factores como pueden ser otros contaminantes o calidad de suelo, agua, etc. conformando una línea base y poder conocer a profundidad los problemas que se pueden estar suscitando en el distrito de Yura.

Se realizó un ANOVA y seguido una prueba de TUKEY, **Anexo 16**, resultando en una baja diferencia entre valores de promedios de estomas obtenidos ($p > 0,05$) en el campo de observación indicado. Este resultado nos indicaría la similitud de resultados estadísticos.

La baja diferencia entre los promedios y un bajo número estomático en relación a los otros sectores analizados puede hacer referencia a la afectación de la especie bioindicadora o las condiciones para su desarrollo no son las adecuadas evitando su normal desarrollo a pesar de la reducción de niveles de contaminación registrados.

La ciudad de Arequipa presenta niveles de concentración de contaminantes por PM10 muy variables a lo largo del tiempo. Muchas veces siendo influenciado por factores como estacionalidad donde el tiempo de verano significará un aumento del nivel de contaminación debido a la mayor presencia de automóviles y otras actividades como construcciones urbanas, adecuación de infraestructura urbana, etc. Analizando a mayor profundidad, cada distrito presenta caracteres diferentes de desarrollo urbano, Paucarpata se caracteriza por tener un desarrollo metropolitano, este presentará niveles de contaminación relacionados a un origen antrópico en su mayor porcentaje proveniente, por ejemplo, del parque automotor y quema de combustibles fósiles. Sin embargo, los tres distritos superan la concentración de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del ECA indicando que son zonas con una calidad ambiental afectada y pueden suponer un riesgo al bienestar y salud tanto del ser humano como del ecosistema. Uchumayo y Yura se caracterizarán por una contaminación mayor del tipo natural compuesta por polvos y partículas finas de tierra debido a actividades como la remoción de tierra, quema de pastizales, erosión, resuspensión de polvos, parque automotor, etc. Algo a considerar es la constante exposición a los contaminantes y cómo estos se pueden relacionar con el bienestar, si bien los valores INCA nos indica un riesgo para un solo sector poblacional, no significa que sea buena señal para dejar de aplicar sistemas y técnicas de gestión para reducir aún más los niveles de contaminación atmosférica y con ello poder mantener la salud pública con un buen pronóstico.

Además, se evidenció cambios drásticos conforme a la fisiología y calidad estomática del agente bioindicador por acción de agentes externos. En una comparativa de la exposición ante agentes contaminantes y manteniendo un cuidado continuo por parte de la gestión municipal respectiva de cada distrito, los árboles presentaron cambios en su capacidad de soportar los niveles de contaminación variables. En la zona de Yura se registró un estado estático en la especie y a pesar de una mejora en la calidad atmosférica, su poca reacción podría evidenciar un estado de baja eficiencia forestal. En las zonas de Paucarpata y Uchumayo, el árbol de Mora evidenció cambios en su tasa estomática a lo que se puede ver reflejado un mejor estado de la especie al reaccionar

ante cambios en factores ambientales; pero los resultados no fueron favorables al final de la evaluación. Sirviendo como agente bioindicador se deduce la posible alteración en la calidad y eficiencia de los árboles, este dato se puede relacionar con la acción que podrían tener diferentes agentes bióticos (ser humano y ecosistema) debido a los posibles peligros y daños a los que se encuentran expuestos por la contaminación. Es importante analizar los cambios que desarrollan las especies, pues como lo citó Egas et al (2018), estos cambios en la disminución de la tasa estomática y tamaño de estomas puede aumentar significativamente la obstrucción y con ello reducir su fotosíntesis. Esto traería consigo otros cambios como son en su capacidad de aportar oxígeno y demandaría un mayor gasto económico en actividades de mantenimiento puesto que su crecimiento se ve comprometido.

Analizando el comportamiento morfológico que puede tener la especie como respuesta ante la exposición de factores contaminantes, y en consideración a lo citado por Dineva (2017) y Parejo-Fárnes (2019), se considera que la acción del material particulado y otros gases que pueden estar presentes en el ambiente han generado cambios en las hojas de Mora obtenidas para el análisis, según lo corrobora Egas et al (2018). La baja tasa estomática registrada por el aumento de la concentración de PM10 refleja la acción de mecanismos de defensa y adaptabilidad que propone Dineva en su estudio, esto como una posible acción para reducir el contacto de las células estomáticas ante las partículas. En Paucarpata y Uchumayo se comprueba una reacción epigenética de cambio al mantener constante cambio en la tasa estomática; en comparativa al sector de Yura se comprueba la hipótesis de la reducción de tasa estomática como defensa, pero al no haber reacción conforme la reducción de concentración del contaminante se deduce que la especie puede estar expuesta a otros factores ambientales que estén comprometiendo su normal desarrollo. Algo a notar es la diferencia en la estructura de las hojas que se observó al momento de recolección en el sector de Yura, las hojas presentaban mayor delgadez en comparativa a los otros sectores, siendo a veces difícil la extracción de la cutícula para análisis debido a la fragilidad del mismo, así como una rápida necrosis luego de ser separadas del árbol (tenían que ser las últimas en ser recolectadas y primeras en procesar en laboratorio). Este tipo de cambios puede significar la actividad epigenética de la especie al tratar de buscar adaptabilidad ante la constante exposición d contaminantes, recordemos que el primer mes estuvo expuesta a valores muy por encima del valor establecido en el ECA de $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ (se llegó a un máximo de

143 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La baja tasa estomática de Yura puede representar un problema para la misma especie debido a la reducción de su normal metabolismo y fotosíntesis, esto puede comprometer el desarrollo y funcionalidad de la especie. En cambio, las características de las hojas obtenidas en Paucarpata y Yura reflejaban una mejor calidad de desarrollo, eran hojas con grosor, no débiles al contacto y mantenían una coloración más verdosa, esto puede significar reacciones de adaptabilidad constante ante la presencia de contaminantes, así como una mejor calidad de desarrollo que presentan estas especies (agua, suelo, etc.).

4.3. Determinación de la forma de afectación por PM10 en morfología y a la tasa estomática del agente bioindicador, *Morus alba*.

4.3.1. Micrografías de Paucarpata

Se realizó micrografías con diferentes aumentos para tener una mayor observación de la acción del contaminante de PM10 sobre la superficie de la hoja en el sector de Paucarpata. Estos se pueden observar en el **anexo 17**.

Primero se obtuvo micrografías con aumento de 500X, **anexo 17-A**, donde se pudo apreciar una superficie con gran cantidad de partículas de diversos tamaños, algunas de gran diámetro, capaz de ser observadas a simple vista. La superficie se observa por ser rugosa, más en los meses de octubre y diciembre. Esta teoría se complementa con lo descrito por Egas et al, 2018, quienes atribuyen que las características morfológicas como la rugosidad superficial, capas de cera, número de surcos y tricomas, ayudan a la retención de partículas atmosféricas. Es por ello que resulta importante reconocer las especies que cuenten con características que beneficien la actividad de captación de contaminantes siendo este un motivo de su beneficio para su plantación en territorio urbano.

Seguido se obtuvo micrografías con aumento de 1000X, **anexo 17-B**, donde se apreció la magnitud del daño ocasionado por la presencia de material particulado sobre la superficie de la hoja. Conforme al paso de los meses, aumentó la cantidad de material depositado en la hoja.

Por último se obtuvo micrografías con aumento de 2000X, **anexo 17-C**, donde se pudo apreciar la forma en que los estomas se ven afectados por el material particulado. En las micrografías, se observó una mayor cantidad de estomas afectados en los meses de

noviembre y diciembre a comparativa del mes de octubre. Esto puede significar que a medida se dispuso la metodología y se evitó cualquier alteración a los árboles por parte de entidades e instituciones, se pudo lograr observar la capacidad de retención del contaminante por la especie. Del mismo modo, se logró observar que es menor la cantidad de partículas que afectan directamente a los estomas, obstrucción, siendo partículas de menor tamaño las que están más presentes sobre los estomas.

4.3.2. Micrografías de Uchumayo

Se obtuvo micrografías de los meses de evaluación (octubre, noviembre y diciembre) empleando diferentes alcances para determinar la forma de afectación de la contaminación por PM10 en hojas de Mora en el sector de Uchumayo, las micrografías se observan en el **anexo 18**.

Primero se obtuvo micrografías con aumento de 500X, **anexo 18-A**, donde se pudo apreciar que la hoja presentaba una mayor cantidad de material depositado sobre su superficie. Se observaban partículas de gran tamaño los cuales podría ser perceptibles a simple vista o al tacto. Se logró apreciar que las partículas se encontraban más distribuidas a lo largo de la superficie y no tanto en conglomerados como en el sector de Paucarpata. Esto se podría deber a la naturaleza del contaminante, siendo el sector de Uchumayo una combinación de gases por quema de combustibles (parque automotor, etc.) con resuspensión de polvos obteniéndose dos tipos de elementos con propiedades y características diferentes.

Se aumentó el alcance y se obtuvo micrografías con un aumento de 1000X, **anexo 18-B**, donde se apreció que la superficie de la hoja presentaba características rugosas, similares al sector de Paucarpata, en este caso hubo mayor presencia de material depositado en la superficie. En los meses de noviembre y diciembre se podía observar claramente cómo las partículas obstruían a los estomas, esto se puede relacionar con el aumento progresivo de la concentración de PM10 registrados en los monitoreos de calidad ambiental.

Por último se obtuvo micrografías con aumento de 2000X, **anexo 18-C**, donde se observó a mayor precisión la característica rugosa de la superficie y la forma cómo las partículas afectaban directa e indirecta el normal funcionamiento de los estomas, algunos obstruyendo y otros taponeando por completo el ostiolo.

4.3.3. Micrografías de Yura

Se realizó micrografías con diferentes aumentos respecto a los meses de octubre, noviembre y diciembre para poder determinar la acción del contaminante PM10 sobre la superficie de hojas de Mora y a sus estomas.

Primero se obtuvo micrografías con aumento de 500X, **anexo 19-A**, donde se apreció que el contaminante se encontraba disperso por toda la hoja muestra y se hallaba partículas de gran tamaño. El mes de diciembre se logró captar una superficie con gran cantidad de material depositado. Esto contrarresta a la concentración de PM obtenida por el monitoreo, pero se podría relacionar la idea del origen del material siendo este en su mayoría por resuspensión de polvos debido a las características geográficas del sector de Yura.

Seguido se obtuvo micrografías con aumento de 1000X, **anexo 19-B**, donde se apreció una diferencia en la rugosidad de la superficie siendo menor. En el mes de diciembre se hace clara la forma de afectación de parte del material particulado con respecto a los estomas de la hoja. Los estomas se ven más pequeños en comparativa a los otros dos sectores, esto se puede deber a la acción de otros factores, siendo esta idea compartida por Egas et al, 2018, al considerar que factores ambientales pueden alterar la morfología de las especies de acuerdo a su adaptación y resiliencia. En Yura se caracteriza por ser un ambiente árido y seco.

Finalmente se obtuvo micrografías con aumento de 2000X, **anexo 19-C**, donde se apreció, más en el mes de diciembre por la gran cantidad de PM depositado sobre la hoja, que las partículas obstruían directamente al estoma. También se observó gran cantidad de partículas de menor tamaño haciendo referente a PM2.5 y menor.

Se pudo observar que los sectores de Uchumayo y Yura presentan mayor cantidad de contaminantes depositados sobre su capa superficial afectando un mayor número de estomas en comparación al sector de Paucarpata. Una deducción es debido a la naturaleza del contaminante, en Paucarpata se concentra una contaminación con mayor cantidad de hollín y elementos de combustión los cuales generan conglomerados; en cambio en los sectores de Uchumayo y Yura es una contaminación más de origen natural provocado por procesos de resuspensión de material y erosión, y se observó que el material se encuentra más dispersado. Las características morfológicas como la rugosidad estuvieron presente en todas las muestras siendo importante considerarlo

debido a que permite la captación de material particulado sobre la superficie. Cabe mencionar que el mes de octubre presenta baja cantidad de material, esto podría deberse a un cese en el mantenimiento por parte de personal trabajador en los árboles estudiados por el motivo de estudio.

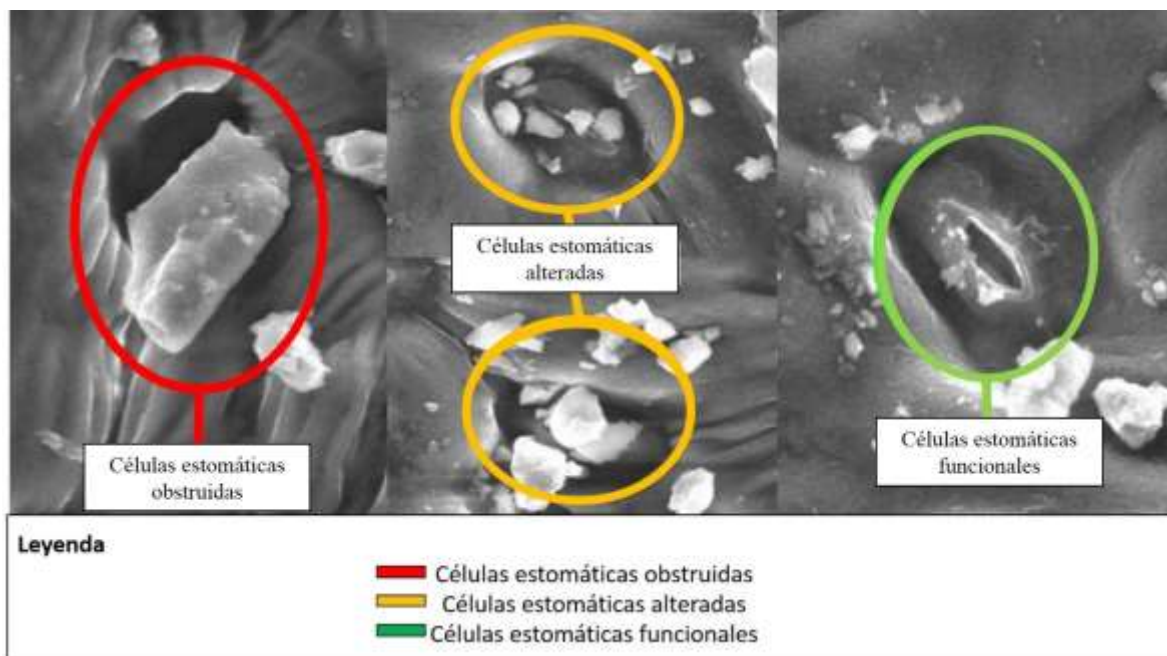


Figura 32: Formas de afectación estomática por material particulado PM10 y menores. Fuente propia.

Conforme las micrografías obtenidas se demuestra la forma de acción del material particulado como agente dañino de los estomas en las plantas de Mora. Las micrografías fueron tomadas de la cara del envés de la hoja (abaxial). Desde un alcance más alejado (500X a 1000X) se observa la magnitud de la contaminación superficial por PM10 y mientras nos acercamos en alcance (1000X a 2000X) se observa la afectación en los estomas y cómo algunos se encuentran en un estado obstrucción gaseoso debido a las micropartículas, algunos actuando como costras superficiales evitando su proceso de respiración, y otras introduciéndose en su interior alterando su correcto movimiento y cierre del estoma. En la **figura 32** se puede observar ejemplos del accionar del material particulado sobre los estomas.

Colque (2014) en su estudio “Determinación del efecto de las emisiones del parque automotor sobre los estomas del Fresno *Fraxinus excelsior* Arequipa -2011” tomó como zona de estudio avenidas del distrito de Cercado de Arequipa presentando una relación y equivalencia entre el daño ocasionado por el material particulado hacia los estomas y

su semejanza con los alveolos pulmonares en seres animales. Colque mediante micrografía obtuvo imágenes sobre cómo el material particulado, actuando en forma de hollín, se conglera sobre los estomas ocasionando un estado de obstrucción en su función de cambio gaseoso. En comparativa a este trabajo se resalta el accionar del material particulado sobre los estomas de la especie bioindicadora. Se obtuvo resultados similares en la forma de acción del PM10 ocasionando interrupciones sobre los estomas. Se puede aclarar que la zona de Paucarpata hace mayor referencia a una contaminación antropogénica por PM10 y hollín producto de fuentes móviles como el parque automotor y/o fuentes fijas como restaurantes; mientras tanto en las zonas de Uchumayo y Yura se caracteriza una contaminación más natural producto de fuentes fugitivas como la resuspensión de material, movimientos de tierra y erosión en comparativa al parque automotor.

Los investigadores Egas et al (2018), en su estudio “Contaminación urbana por material particulado y su efecto sobre las características morfo-anatómicas de cuatro especies arbóreas de Santiago de Chile - 2018” obtuvo resultados de la contaminación por PM sobre la superficie estomática de 4 especies arbóreas de la ciudad de Santiago de Chile y mediante el uso de micrografías relacionaron el accionar del PM10 sobre la funcionalidad de los estomas llegando a una conclusión que “la macro y micro-morfología de una superficie foliar se podría emplear para evaluar el impacto de la contaminación por MP”.

Además, Egas et al, concluyeron que los diferentes grados de contaminantes presentes en el aire pueden resultar dañinos para la densidad y ancho de los estomas estableciendo la relación que a mayor concentración de contaminantes atmosféricos, mayor será la alteración y afectación del funcionamiento biológico de la foresta urbana. En comparativa con el trabajo realizado, la ciudad de Arequipa presenta en la mayoría de los meses de evaluación niveles de contaminación superiores al ECA establecido ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diario y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anual) asemejando resultados semejantes en su forma de alteración a la tasa estomática y el correcto funcionamiento de la foresta urbana, observado mediante las micrografías obtenidas. Considerando estos resultados se debe reincidir en una mejora hacia los planes de gestión y sobre todo cómo se maneja los niveles de contaminantes con respecto a diversas especies arbóreas siguiendo con diversos estudios y puntos teóricos para un mejor rendimiento y elaboración de los planes forestales.

Santurtún et al (2017) demostraron una asociación entre la exposición del contaminante PM10 con la aparición y desarrollo de EPOC en la población. Su relación se establece en que mientras sea mayor la concentración de PM10 en el ambiente, mayor son las probabilidades de afectación poblacional por EPOC. Las partículas serían las causantes de la obstrucción pulmonar a través del taponamiento de los bronquios. Esta acción se podría igualar al proceso de obstrucción observado en la **figura 32**. Las partículas de mayor tamaño obstruyen los ostiolo de los estomas evitando su normal funcionamiento de intercambio gaseoso y afectando morfológicamente; mientras que si hablamos de partículas PM2.5 se introducirían al torrente sanguíneo. Algo a considerar y que menciona el estudio de Santurtún et al es el de considerar la trayectoria de las partículas y del tipo de contaminante del que provienen discutiendo que los de origen antrópico son más dañinos que los de origen natural (polvos resuspendidos), esto debido a que son más dañinos a la salud por su origen (provenientes del parque automotor, materiales oleosos, etc.) y por el tamaño siendo en porcentajes mucho menor permitiendo que pasen las barreras defensivas alcanzando los bronquios terminales.

Considerando factores epigenéticos expresados por el árbol de Mora se considera que, según Dineva (2017) y Egas et al (2018) se tiene una respuesta morfológica ante la presencia de las partículas mediante la reducción en el tamaño de las células estomáticas, esto con el fin de evitar el ingreso de partículas y evitar mayores daños a la morfología y normal desarrollo de la planta, siendo esto observable en la **figura 32** en las “células alteradas”. Algo a considerar es, según lo expuesto por Martín (2005) y Colque (2014) es la fuente de origen de las partículas (natural o antrópico) siendo la dispersión a lo largo de la superficie foliar diferente conforme la composición química que puedan tener (sílice, materiales oleosos, etc.)

4.4. Propuestas de alternativas de mejora al plan de monitoreos para calidad ambiental con especies bioindicadoras.

4.4.1. Técnicas para monitorear calidad ambiental con bioindicadores y servicios ecosistémicos.

4.4.1.1. Propuestas de foresta.

Empleando información obtenida de SERFOR e investigadores académicos, se seleccionó un compendio de especies arbóreas con la finalidad de ser empleadas para monitoreos futuros, los cuales serán detallados en los siguientes puntos. Las especies presentan resistencia a problemas comunes de la ciudad de Arequipa como son el estrés hídrico y los elevados niveles de radiación solar, esto con motivos de evitar cualquier otro factor que pueda alterar el normal desarrollo de la foresta y se mantengan aptos para futuros proyectos de monitoreo. Las especies se pueden observar en la **tabla 17**:

Tabla 17: Relación de especies arbóreas para reforestación en la región de Arequipa.

TABLA RELACIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS PARA LA REGIÓN DE AREQUIPA		
NOMBRE	NOMBRE CIENTÍFICO	REGION
Molle	<i>Schinus molle</i>	Oriunda
Huaranguillo	<i>Acacia horrida - macrantha</i>	Introducida - Oriunda
Cahuato	<i>Tecoma arequipensis</i>	Oriunda
Tara	<i>Casalpinta spinosa</i>	Oriunda
Jacaranda	<i>Jacaranda acutifolia</i>	Oriunda
Casuarina	<i>Casuarina esquitsetofilia</i>	Introducida
Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	Oriunda
Vilco	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Oriunda
Yaro	<i>Prosopis pallida</i>	Oriunda
Mioporo	<i>Myoporum acuminatum</i>	Introducida
Queñua	<i>Polylepis sp.</i>	Oriunda
Lloque	<i>Kageneckia lanceolata</i>	Oriunda
Chachacomo	<i>Escallonia resinosa</i>	Oriunda
Palo verde	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Oriunda
Quillay	<i>Quillaja saponaria</i>	Oriunda

Fuente propia en base a información bibliográfica-pública

La información se obtuvo de las siguientes fuentes:

- ♣ “Determinación del efecto de las emisiones del parque automotor sobre los estomas del Fresno *Fraxinus excelsior* Arequipa – 2011” (Colque, 2014).
- ♣ La investigación “Forestación urbana en ciudades de zonas áridas: la forestación en la ciudad de Arequipa como ejemplo inadecuado de forestación urbana” (Talavera, Jiménez, & Villasante, 2000).
- ♣ La investigación “El recurso forestal en la región Arequipa: Diagnostico y posibilidad” (Talavera, Jiménez, & Villasante, 1991).
- ♣ La investigación “Mapa de la vegetación en la cuenca del rio Chili Arequipa – Perú” (Talavera et al, 2008).
- ♣ Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre SERFOR. (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2019)

Se debe recalcar la importancia en los programas de forestado urbano, el cual brinda a las ciudades posibilidades de mejorar la calidad atmosférica sirviendo como agentes de limpieza de contaminantes atmosféricos, así como cumplir con servicios ecosistémicos de abastecimiento y regulación al permitir reducir niveles de contaminantes atmosféricos y reducir los efectos de islas de calor; el servicio de soporte al ser entidades reguladoras del ciclado de minerales y contaminantes como es el CO₂; y servicio de cultural al ser foresta oriunda de la zona.

Aponte (2017) Menciona la importancia en la morfología de las hojas considerando que estructuras con excrecencias, pelos, exudaciones o relieves accidentados permiten una mayor retención de partículas en comparación a las de tipo lisas, coriáceas y sin ceras protectoras; así como la acción de un peciolo pequeño y grueso que permita mantener firme la hoja y evitar su constante agitación por el viento. Conforme a estas apreciaciones tenemos que las especies de Cahuato, Sauce, Yaro, Queñua y Chachacomo son las más óptimas para ser empleadas en planes de monitoreo debido a que permiten adherir mayor cantidad de partículas en su follaje debido a las características de sus hojas; mientras que especies como Palo Verde o Casuarina podrían significar una operación tediosa y de baja significancia debido a sus hojas pequeñas similares al Pino.

4.4.1.2. Monitoreo de PM por árboles.

Se plantea la evaluación de retención de material particulado por el arbolado urbano para caracterizar emisiones generadas por fuentes lineales, se delimitará el área de muestreo mediante polígonos en zonas de mayor contaminación atmosférica o en sectores cercanos a fuentes fijas-móviles.

Si se desea hallar la relación entre concentraciones de material particulado y área foliar (mg/m^2 o $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) se necesitará recolectar entre 15 y 20 hojas por árbol. Si se desea conocer la cantidad de material particulado y materia seca (mg/kg o $\mu\text{g}/\text{g}$) se colectará entre 40 y 50 gramos de hojas de cada árbol; todas a una altura entre 1,50m y 2,50m desde el suelo. Se transportarán en bolsas ziploc y se almacenarán a 4°C para ser tratadas en laboratorio. Se recomienda tener replicabilidad de muestras y para ello considerar un número grande de individuos a analizar; se puede seguir las indicaciones de arbolado urbano en el **punto 4.4.1.1**. Para conocer el número de árboles a muestrear por semana se emplea la siguiente fórmula:

$$k = \frac{N}{n}$$

Ecuación 5: Fórmula para el número de árboles a muestrear

Donde “k” es el salto sistemático, “N” la población total de una especie y “n” el número de individuos a muestreos por especie, utilizando para cada población un $n=2$ o más.

Posteriormente las muestras de hojas y bolsas serán sometidas a un lavado con agua des-ionizada para el retiro del material particulado, se puede emplear una bomba manual, pinceles de cerdas finas, suaves y delgadas para desprender el material particulado. Se depositará en un frasco de vidrio previamente tarado para su posterior desecación en estufa a 80°C durante 72 horas; calculando finalmente la cantidad de material particulado retenido por las superficies foliares por diferencia de pesos conforme la siguiente ecuación:

$$MP = (Pf - Pi) * 1000$$

Ecuación 6: Fórmula para hallar el PM por gravimetría.

Siendo “MP” material particulado, “Pf” el peso final del frasco en mg, y “Pi” el peso inicial del frasco.

Para establecer las concentraciones de Partículas Sólidas Totales retenidas por árbol ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), se procede con la siguiente ecuación:

$$PST = \frac{MP}{AF}$$

Ecuación 7: Fórmula para las partículas sólidas totales en base al PM y área foliar.

Donde “PST” son las partículas sólidas totales, “MP” es el material particulado retenido en μg y “AF” es la sumatoria del área foliar de las hojas recolectadas del árbol en cm^2 .

La determinación del área foliar se puede realizar empleando un escáner LI-COR o mediante la toma de fotografías y empleando el software IMAGEJ.

Se pasará por un ANOVA, se puede emplear análisis de correlación de Spearman entre PST y valores como precipitación y velocidad del viento. También se puede analizar la retención de material particulado a través de un análisis de varianza de Kruskal-Wallis

Con esta idea planteada, Egas et al (2018), elaboraron un estudio en la localidad de Santiago de Chile en referencia a cómo el PM afecta a diversos árboles del centro urbano, más concreto a estudiar el efecto de la contaminación por material particulado sobre las características morfo-anatómicas de los árboles. Con resultados donde detallan variaciones significativas de la densidad y ancho estomático en relación al sitio de estudio, el área foliar y los niveles de contaminación. Cambios como una mayor rugosidad en la superficie son ejemplo del mecanismo de defensa de las plantas en la absorción de contaminantes; pero también aumentaría su posibilidad de obstrucción y reducción de fotosíntesis. En la investigación realizada en Arequipa, la exposición de los contaminantes a la tasa estomática es con un proceso similar al demostrado por Egas et al, 2018. Altas concentraciones de material particulado pueden afectar el correcto funcionamiento biológico de las especies arbóreas trayendo consigo problemas en su desarrollo y afectar los servicios ecosistémicos a los que se destina el arbolado urbano.

Vieco (2014) hace mención que, en Medellín, la foresta urbana casi siempre mantuvo fines estéticos siendo el diseño paisajístico y de infraestructura como los fines principales a los que se destinaba sin tomar en cuenta los servicios ecosistémicos que las especies pueden brindar al medio. Vieco considera que es importante conocer la contribución de diferentes especies arbóreas para el cumplimiento del servicio de

mejora de calidad del aire mediante remoción de partículas. En el Perú la situación es similar, la falta de información disponible sobre si una especie presenta potencial de interceptación de PM genera que sólo se considere el aspecto paisajístico; no se considera la funcionalidad de la especie como bioindicador o servicio ecosistémico. Esto es más relevante en entidades públicas como municipios.

Los factores ambientales que, según Vieco (2014), afectan de manera significativamente la retención del material particulado. Factores como la velocidad del viento, dirección, precipitaciones, concentración del contaminante y la fuerza de emisión son mencionados. La cercanía a la fuente emisora puede generar disturbios en la retención; pero se considera las precipitaciones como de mayor relevancia por su acción de lavado. En nuestro estudio no se presentó precipitaciones durante el tiempo de evaluación, por ende, queda descartado considerar dicho factor. El factor a considerar de mayor presencia en el estudio sería la cercanía a la fuente emisora en un solo punto de muestreo, siendo Paucarpata, debido a que la especie se ubica junto a la avenida.

Así mismo, Aponte (2017), menciona que si las especies arbóreas estudiadas presentan mayor área de exposición (área foliar) estas generarían una mayor interceptación de Partículas Suspendidas Totales PST; esto sería un valor de consideración para estudios de mejora de calidad del aire y evolución morfológica de especies.

4.4.1.3. Estudio de calidad atmosférica por líquenes.

Se señala que para monitoreos con líquenes se deben seguir ciertos aspectos y procedimientos. Estos se encuentran en un documento denominado “European Guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress” realizado por la Unión Europea y en la que proponen métodos para analizar la diversidad y frecuencia liquénica sobre corteza de árboles para el monitoreo de contaminación atmosférica.

Para el diseño se debe:

- 1) Seleccionar y ubicar las unidades muestrales: considerar estrategias de caracterización de la fuente de emisión – perturbación; además de considerar una escala de densidad muestral mediante densidad de grilla acorde a la superficie del

área y/o tipo de estudio (tamaño unidad muestral). Para ello se considera valores de 0,25x0,25 km, 0,5x0,5 km y 1x1 km.

- 2) Número de árboles siendo acorde al tamaño de la unidad muestral, siendo valores desde 3-4, 4-6 y 6-12 conforme a la unidad muestral del punto anterior. Estos criterios pueden variar conforme a un número insuficiente de árboles o seguir otro criterio para su validación como cercanía al punto de emisión, división en cuadrantes, etc. Un consejo es seleccionar una sola especie arbórea para evitar variaciones fuertes de las características de la corteza (pH, capacidad de almacenamiento de agua, contenido de nutrientes). Los troncos deben ser por lo menos de 40 cm de perímetro e idealmente sobre 70 cm (13 y 22 cm de DAP), evitando árboles dañados.
- 3) Para el análisis de la diversidad y frecuencia liquénica se emplearán cuatro cuadrículas independientes compuestas por cinco cuadrados de 10x10 cm apoyadas verticalmente sobre el tronco y que el límite inferior quede al menos a 1m por sobre el suelo. Se ubicarán las cuadrículas en los 4 puntos cardinales de la zona de muestreo con una desviación máxima de 20° en sentido horario. Se deben evitar partes dañadas, nudos, canalículos y partes con cobertura de briofitas superior al 25% según la **figura 33**.

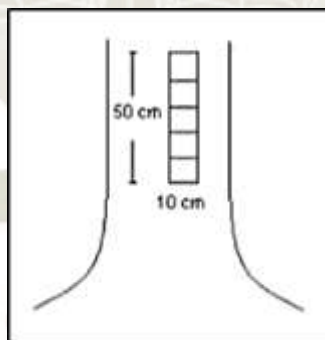


Figura 33: Cuadrícula para muestreo de líquenes. Fuente Riquelme, 2017.

- 4) Registrar las especies liquénicas presentes en cada cuadrícula, así como la frecuencia de ocurrencia de cada especie. Todas las especies son adecuadas para el cálculo del Valor de Diversidad Liquénica “LDV”.
- 5) Valor de diversidad liquénica “LDV”: estimador estadístico de las condiciones ambientales en la unidad muestral, basada en la suma de las frecuencias medias de las especies para cada orientación de cada árbol en la estación.

Valor medio de la suma de frecuencias

$$MSF_{xj} = (SF_{1xj} + SF_{2xj} + \dots + SF_{nxj}) \ln$$

Ecuación 8: Fórmula del valor se suma de frecuencias.

$$LDV_j = (MSF_{norte} + MSF_{sur} + MSF_{este} + MSF_{oeste})$$

Ecuación 9: Fórmula Valor de Diversidad Liguénica.

- 6) Clases de diversidad liquénica “LDC”: determina la agrupación de los valores de LDV, dentro de clases lo suficientemente amplias para reflejar diferencias estadísticas y ambientales significativas entre estaciones, permitiendo distinguir la existencia de zonas de distinta calidad ambiental, ocupando un error estándar de frecuencias de especies en cada orientación de cada árbol de la estación.

$$\text{Error estándar de la unidad } j = \frac{\text{Desviación estándar de } j}{\sqrt{(n_j - 1)}}$$

Ecuación 10: Error estándar de J

$$\text{Amplitud de clase de LDV} = 3 * \text{Error estándar}$$

Ecuación 11: Amplitud del valor de Diversidad Liguénica.

Un mayor valor de LDV indicaría una mejor calidad atmosférica

- 7) Índice de Pureza Atmosférica IPA: método más utilizado en trabajos de biomonitorización, basado en las variaciones que la contaminación atmosférica induce sobre las comunidades liquénicas. Se calcula a partir del número de especies presentes y la frecuencia de cada una de ellas en las diferentes localidades de estudio.

$$IPA = \sum \frac{ft}{n}$$

Ecuación 12: Fórmula Índice de Pureza Atmosférica IPA.

Dónde: “Ft” es frecuencia total de especies en todos los árboles de una estación. Se calcula por la suma de las frecuencias parciales para cada especie en cada árbol. “n” que es el número de árboles por estación.

Las estaciones más contaminadas presentarán valores IPA menores, y un valor 0 se entiende como “desierto liquénico”.

- 8) Índice de pureza atmosférica modificado: aporta mayor sensibilidad en área de climas más rigurosos y de mayor contaminación, donde el número de taxas es más reducido. Funciona similar al IPA pero incluye una razón entre el factor de riqueza local y total.

$$IPA = \sum \frac{ft}{n} * \left(\frac{S_{\text{área}}}{S_{\text{total}}} \right)$$

Ecuación 13: Índice de Pureza Atmosférica Modificado.

Dónde: “S_{área}” es el número de especies en la estación de monitoreo. “S_{total}” es el número total de especies, “Ft” es la frecuencia total y “n” es el número de árboles.

4.4.1.4. Captura de carbono.

Considerando la disponibilidad de biomasa y los flujos que de ella derivan expresables como Productividad Primaria Neta “PPN”. Para ello se propone modelos de estimación con variación dentro de un rango de 0 a 100 de servicios ecosistémicos a partir de la PPN y la disponibilidad de corrientes, además de considerar otros factores de naturaleza física como pendiente de terreno, temperatura media y la altura sobre el nivel del mar.

Empleando ecuaciones que integran variables climáticas, de terreno y de la vegetación.

$$\text{Servicio de captura de carbono} = PPN * (1 - CV_{PPN}) * (1 - P_a) * 1.5$$

Ecuación 14: Fórmula del Servicio de captura de carbono.

Dónde: “PPN” es la productividad primaria neta anual estimada a través del índice verde normalizado expresado en una escala relativa (0-100). “CV_{PPN}” es el coeficiente de variación de la PPN (0-1) dentro del periodo que se propone evaluar. “P_a” es la superficie cubierta por cuerpos de agua.

Además del estudio de Servicio de captura de carbono, se recomienda evaluar otros servicios para hallar la provisión total de servicio ecosistémico de cada ecosistema. Entre los otros servicios a evaluarse tenemos: Servicio de protección del suelo, servicio de purificación y provisión de agua, servicio de conservación de biodiversidad, servicio

de control de disturbios, servicio de metabolización de desechos y servicio de provisión de bienes de uso directo, cada uno con una fórmula independiente.

Luego de obtener resultados, se estandarizan considerando 1 al máximo valor entre todos los servicios ecosistémicos evaluados y con ello se procede a la evaluación de importancia social de servicio ecosistémico (mediante opinión pública), análisis de los cambios de uso del suelo (mediante metodologías por módulos como de IDRISI “Land Change Modeler”), identificación y análisis de riesgo de áreas clave en la prestación de servicios ecosistémicos (las zonas de riesgo son definidas como aquellas donde el uso actual entraba en conflicto con el uso adecuado para garantizar la prestación del servicio ecosistémico), y la jerarquización de áreas por necesidad de protección de servicio ecosistémico relevante (en función al análisis de riesgo y su priorización mediante mapeo en colores siendo verde de riesgo bajo, amarilla de riesgo intermedio y roja de riesgo alto).

La importancia de realizar evaluaciones a los servicios ecosistémicos está en su efectividad y si se cumple los fines que debería brindar. Conforme a la captura de carbono, se comprende que está en relación a procesos de fotosíntesis y respiración, si los valores son muy bajos, significa que no está generando suficiente captura de CO₂ como para significar un servicio ecosistémico. En la evaluación se puede corroborar si bien están actuando debidamente o se es necesario aplicar medidas de gestión para cambiar los resultados y poder brindar un aporte.

González et al (2014) en el libro “Bioindicadores, Guardianes de nuestro futuro ambiental” detalla la funcionalidad de los bioindicadores dentro de los planes de monitoreo ambiental. Tomando como ejemplo un modelo de monitoreo de calidad del agua, González hace énfasis en las desventajas que trae los métodos fisicoquímicos y hace referencia al empleo de comunidades de peces como herramienta para monitoreo y restauración de la integridad del ecosistema. Así mismo hace mención a los “índices bióticos de integridad (IBI) y apunta en que los análisis de contaminantes no solo deben medirse en su efecto, sino en su sinergia como puede ser cambios en el régimen, transformación de hábitats, etc. Este modelo se puede aplicar como referencia para diversos estudios de monitoreo de calidad ambiental. En nuestro estudio la contaminación atmosférica presenta diversidad de factores los cuales no pueden ser apreciados en su totalidad mediante un estudio fisicoquímico. La aplicación de agentes

bioindicadores para brindar un mayor estudio y enfoque en la sinergia e interrelación del contaminante con agentes bióticos nos permitiría elaborar mejores planes de gestión, conocer mejores propuestas para la mejora del medio ambiente y brindar un enfoque de acción más directo.

4.4.1.5. Modelación de servicios ecosistémicos mediante software.

Se emplean diversos softwares y programas de modelamiento para la obtención y procesamiento de datos. Estos se emplean en estudios de servicios ecosistémicos y tenemos los siguientes ejemplos:

- InVEST

Proyecto iniciado en el 2006 por el Natural Capital Project y tiene por objetivo informar y mejorar la gestión de los recursos naturales y las decisiones de inversión. Es un conjunto de 17 modelos independientes para analizar ambientes marinos y terrestres. Sus modelos son basados en funciones de producción de servicios dependiendo de la estructura y los procesos de ecosistemas (Codato et al, 2015).

Esencialmente provee información sobre cómo los cambios en los ecosistemas pueden producir cambios en los flujos de beneficios para las personas. InVEST proporciona una herramienta eficaz para explorar los resultados probables de la gestión alternativa y los escenarios climáticos para evaluar las compensaciones entre sectores y servicios. Se podría emplear InVEST por ejemplo en determinar la administrar de tierras para proporcionar una gama deseable de beneficios a personas o para ayudar a diseñar programas de permisos y mitigación que sostengan los beneficios de la naturaleza para la sociedad (The natural capital project, 2017).

InVEST es un grupo de modelos aplicables a ambientes terrestres, marinos y de agua dulce que usa funciones de producción para estimar cambios en biodiversidad y servicios ecosistémicos bajo diferentes escenarios demográficos, de cambio de uso de tierra y climáticos. Provee un marco básico diseñado para ser utilizado en cualquier lugar. El enfoque es co-desarrollar aplicaciones con tomadores de decisiones para asegurar que los resultados sean adecuados y aplicables a las necesidades locales, y que los datos disponibles, métricas y procesos de producción de conocimiento sean creíbles,

relevantes y legítimos por actores. El programa permite modelar en sistemas terrestres: Calidad de hábitat, ventajas de la captación de carbono, producción anual de agua para hidroeléctricas, purificación del agua por retención de nutrientes, control de erosión, polinización de cultivos, producción de madera y de productos forestales no maderables. En sistemas marinos permite: Beneficios de pesquería, provisión de alimentos de acuicultura, protección costera, conversión de energía de olas, y generación de paisajes para fines estéticos y recreativos (Pacha, 2014).

- SolVES

“Social Values of Ecosystem Services”. Es una aplicación de SIG creada como respuesta a la necesidad de incorporar medidas cuantificadas y espaciales de valores sociales en la valoración de servicios ecosistémicos. SolVES está diseñado para evaluar, mapear y cuantificar los valores sociales, no monetarios, percibidos de los servicios del ecosistema. Se comprende valores como los servicios culturales por ejemplo la estética y recreación, y pueden evaluarse para varios grupos de partes interesadas. Estos grupos se distinguen por sus actitudes y preferencias con respecto a los usos públicos, como la recreación motorizada y la tala. SolVES deriva una métrica cuantitativa de 10 puntos de valores sociales, siendo el índice de valor una combinación de respuestas espaciales y no espaciales a encuestas de valor público y preferenciales; y calcula métricas que caracterizan el entorno subyacente como la distancia promedio al agua y cubierta de tierra dominante. Es desarrollada por el “USGS Rocky Mountain Geographic Science Center & Colorado State University” (U. S. Geological Survey, s.f.).

Tiene como salidas diferentes mapas e información estadística sobre valores sociales combinando información espacial y no espacial proporcionada por cuestionarios sobre actitudes y preferencias de diferentes actores sociales. Todo ello reflejado en mapas de densidad de puntos. Algunos valores sociales que brinda son: valor del paisaje, diversidad biológica, uso económico, sustento para la vida, recreacional, espiritual y cultural, histórico y otros más (Codato et al, 2015).

¿Por qué es importante medir y monitorear Servicios Ecosistémicos mediante modelamientos?

Los modelamientos, a pesar de ser considerados como una estrategia de poca exactitud, es una herramienta que nos permiten conocer y poder pronosticar o deducir diversos

procesos y/o resultados. Codato et al, 2015, en su presentación nos indica que los modelamientos nos permiten:

- ♣ Orientar y tomar decisiones para la planificación
- ♣ Informar estrategias de servicios ecosistémicos o de ordenamiento territorial.
- ♣ Informar sobre los beneficios de la conservación de la biodiversidad.
- ♣ Identificar a actores involucrados o afectados por las decisiones de manejo de uso de la tierra, para un reparto justo y equitativo de los beneficios.
- ♣ Crear conciencia y propiciar apoyo público y gubernamental para decisiones de manejo basadas en evidencia técnica y científica.
- ♣ Valoración social generando una valoración no monetaria en los procesos decisionales y de gestión de la naturaleza.

4.4.2. Beneficio de estudios empleando bioindicadores y servicios ecosistémicos para la toma de decisiones.

Es necesario entender las tendencias en las condiciones de los servicios ecosistémicos, por ejemplo, que tantos usos se le puede dar a un recurso como el agua para el bienestar del ser humano, desde una central hidroeléctrica hasta para riego. Dada su complejidad e interacción de diversos procesos naturales y sociales, también es necesaria la construcción de escenarios futuros que permitan delimitar rangos e impactos y las consecuencias positivas o negativas sobre diferentes componentes ecosistémico y sistemas económicos.

Valorar los servicios ecosistémicos puede ayudar a tomar decisiones informadas sobre distintos aspectos como son el ordenamiento territorial, evaluaciones ambientales estratégicas, compensaciones de carbono y pago por servicios ambientales. Se puede apreciar lo mencionado en la **figura 34**



Figura 34: Distintos usos del enfoque sobre servicios ecosistémicos para la toma de decisiones en la gestión del territorio. Fuente Pacha - WWF, 2014.

El éxito de la aplicación de esta estrategia se condiciona con diversos factores principalmente un contexto habilitante y un diseño efectivo de proyecto. Para obtener esto es necesario realizar evaluación previa para definir si existen los elementos claves necesarios para el empleo de este enfoque. Se consideran los siguientes puntos:

- 1) Política: ¿Existe voluntad política que permite basar la toma de decisiones sobre los recursos naturales en base a la información presentada y no como resultado de presiones de los diferentes sectores?
- 2) Información: ¿Existe información disponible, accesible, de buena calidad y alta escala necesaria?
- 3) Técnica: ¿Existe capacidad técnica para entender la herramienta y sus resultados?
- 4) Social: ¿Existen espacios para fomentar la plena participación informada de los actores?
- 5) Legal: ¿Existe un marco legal que apoye y regule el concepto de servicios ecosistémicos, la participación de la sociedad y las compensaciones?
- 6) Institucional: ¿Existen instituciones que tienen el mandato, recursos y capacidades para basar la toma de decisiones de la gestión ambiental en base a la valoración del capital natural y de los impactos negativos y positivos?
- 7) Económica: ¿Existen recursos necesarios tanto humano como financieros para implementar una propuesta sobre servicio ecosistémico?

(Pacha, 2014)

Para una mejor aplicación y efectividad en la toma de decisiones respecto al uso de servicios ecosistémicos, se sugiere la idea de *puntos de éxito*, siendo caminos que pueden apoyar a crear cambios en las políticas públicas siendo representadas en la **figura 35**.

El camino 1 representa un proceso en donde científicos, actores y tomadores de decisiones proveen información, producen, analizan y diseminan resultados como una construcción colectiva de conocimiento. Los indicadores se ven representados por publicaciones de nuevos conocimientos y formas de diseminación de información. Su progreso puede catalizar el impacto en el camino 2 debido a la construcción del nuevo conocimiento, comprensión y conciencia. El camino 2 representa el impacto de la información sobre servicios ecosistémicos en actitudes, creencias, concientización y entendimiento por parte de actores y tomadores de decisiones. Los cambios se perciben conforme a la incorporación de terminología y la articulación de objetivos y posiciones. Estos llevan a los actores a realizar distintas elecciones y diseñar nuevos mecanismos y políticas considerando los servicios ecosistémicos. El camino 3 representa la influencia de la información sobre servicios ecosistémicos en acciones específicas y el comportamiento de tomadores de decisiones, que puede constituir compromisos, cambios en procedimientos o una decisión específica sobre financiamiento, continuación, correcciones, terminación o expansión de un proyecto, programa o política. El camino 4 está basado en la generación de resultados específicos y mejoras medibles en la provisión de servicios ecosistémicos, biodiversidad y bienestar humano (Pacha, 2014).

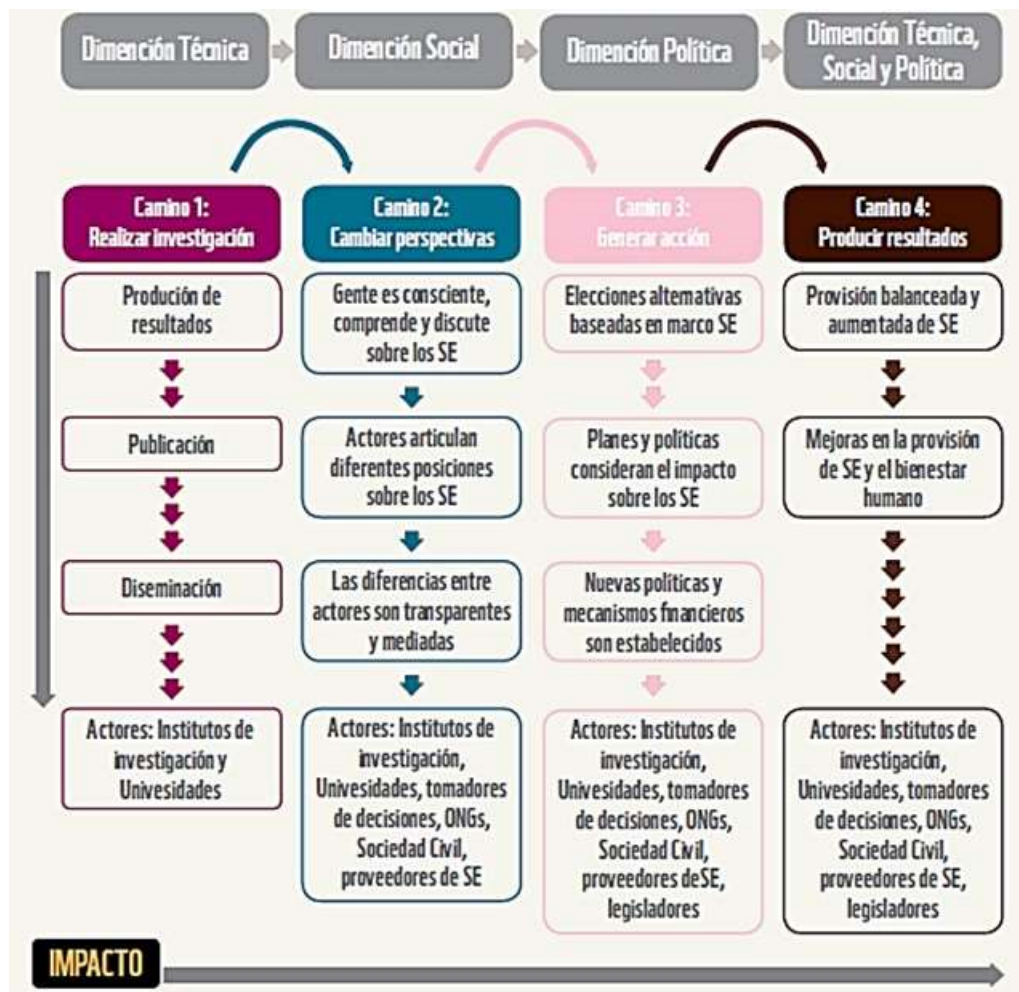


Figura 35: Caminos y niveles de impacto de la información de Servicios Ecosistémicos sobre las decisiones para la gestión del territorio. Fuente Pacha - WWF, 2014.

Mediante la aplicación del modelo mencionado, se elaboró un modelamiento de los caminos que llevaría la aplicación de caminos y niveles de impacto en nuestro estudio realizado en la ciudad de Arequipa. Según lo observado en la **figura 35** se consideran cuatro caminos mediante la aplicación de dimensiones técnica, social, política y resultados (aplicación de las tres mencionadas).

En el primer camino “Técnica” se consideró impulsar actividades desde conformación y generación de técnicas, metodologías, planes de gestión, etc. por parte de instituciones académicas y entidades públicas y privadas encargadas de la conformación de planes de gestión. La publicación de estudios tanto explorativos como aplicativos en temática ambiental es importante para la conformación de futuros planes y como cimiento del segundo camino.

En el segundo camino “Social” se considera mejorar e implementar diversas actividades y programas de concientización de actores y agentes tomadores de decisiones. En ello se

puede incluir tanto a la comunidad como a personal capacitado. Las municipalidades se ven en el trabajo de hacer llevar la información a la ciudadanía, obteniendo su correspondiente aprobación y seguimiento correcto a lo largo de su aplicación. La aprobación social es un punto clave debido al respaldo que se le brinda y con ello evitar malentendidos que puedan generar complot social.

En el tercer camino “Política” es necesario el respaldo tanto de la población como de las entidades que ejecutarán los diversos planes propuestos. Altos funcionarios son los llamados a liderar políticas a favor de los objetivos propuestos, tanto crear como darle seguimiento en su correcto funcionamiento. La acción conjunta entre diversos actores proporcionará un correcto desempeño de futuras políticas, tomando en cuenta que siempre se debe mantener una constante actualización de la normativa.

Una vez obtenido los tres caminos anteriores, se pasará a un cuarto camino que es la representación de resultados. En ella se verá tanto la correcta aplicación de los planes de gestión elaborados como la correcta participación de entidades y actores al margen de la ley. Estos resultados se medirán conforme a sus objetivos propuestos (mejora de calidad ambiental, correcto uso de recursos, etc.). Todo ello observado mediante los impactos pronosticados desde una base.

Aplicando el modelo de la **figura 35**, se elaboró un mapa, representado en la **figura 36**, sobre cómo serían las dimensiones aplicadas al campo de estudio que se desarrolló en el estudio. Para ello se relacionó a entidades encargadas de la promoción y control de los estándares de calidad ambiental, así como velar por la acción y funcionamiento de planes de gestión en mejora de la calidad ambiental.



Figura 36: Aplicación de caminos y niveles de impacto de la información de servicios ecosistémicos sobre las decisiones para la gestión ambiental de la situación de estudio realizado en la ciudad de Arequipa. Fuente propia.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- ✓ Las especies bioindicadoras estudiadas presentan un crecimiento adecuado para poder ser empleadas como agentes de estudio. Los estudios de calidad atmosférica demostraron que en diversas oportunidades se logra superar los niveles de contaminación establecidos en los ECA. En la localidad de Arequipa se considera un peligro emergente, riesgo para un sector poblacional y se deberían elaborar medidas para seguir reduciendo los niveles de contaminación atmosférica garantizando una mejor calidad ambiental para toda la población.
- ✓ La especie estudiada presenta cambios respecto a su tasa estomática en los sectores de Paucarpata y Uchumayo mostrando un descenso conforme al aumento de PM10, mientras que en el sector de Yura se deduce un estado de daño o alteración debido a la baja tasa estomática incluso al presentar un descenso de niveles de contaminación en la zona.
- ✓ Mediante micrografías se observó el accionar del PM10 sobre la capa superficial de las hojas observándose cómo alteran el funcionamiento estomático debido a la obstrucción y alteración en su funcionamiento fisiológico por acción de partículas.
- ✓ Se identificó diversas metodologías y planes que se pueden incluir en futuras gestiones respecto a calidad ambiental resaltando el empleo de servicios ecosistémicos y bioindicadores. Además, se formuló una metodología para la integración de dichos planes en la toma de decisiones para que puedan ser efectuados de manera correcta y aportar en futuros proyectos considerando la integración de aspectos técnicos, sociales y políticos.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda el empleo de equipos de evaluación in-situ para la obtención de datos de tasa fotosintética como puede ser el equipo LI-COR, esto con motivo de mejorar el estudio de servicios ecosistémicos que brinda las especies en evaluación y obtener mejores datos para una evaluación con mayor profundidad de la foresta urbana y su gestión. Así mismo se propone el empleo del equipo indicado para realizar evaluaciones en zonas de difícil acceso para estaciones de monitoreo de calidad atmosférica.
- Se recomienda la interrelación entre entidades tomadoras de decisiones (públicas y privadas) con el sector academia (universidades, institutos, etc.) para la elaboración de planes y proyectos con mayor envergadura y aplicando una base científica-académica.
- Se recomienda realizar estudios de calidad atmosférica y el empleo de bioindicadores en otros distritos de la ciudad de Arequipa como puede ser Selva Alegre, Cerro Colorado, Cercado, José Luis Bustamante y Rivero; y otros distritos lejanos de Arequipa Metropolitana como puede ser en las provincias de Arequipa, Camaná, Caravelí, Castilla, Caylloma, Condesuyos, Islay, La Unión
- Para una mejor interpretación de valores y resultados, se recomienda efectuar una línea base con respecto a contaminantes. Esto nos llevaría a conocer todos los posibles efectos que tendrían los contaminantes sobre el ambiente y poder tomar una mejor decisión de acción.
- Se recomienda, con motivos de la generación de una línea base, continuar el estudio con bioindicadores en diversas etapas del año (diferentes etapas estacionales).
- Se recomienda realizar diversos estudios que analicen otros factores o variables ambientales que pueden intervenir en procesos de desarrollo de agentes bióticos como estudios hídricos, calidad de sustrato, etc., así como realizar otros estudios siguiendo diferentes especialidades para conocer a mayor profundidad los cambios y adaptaciones que pueden estar expuestos los agentes bioindicadores estudiados a futuro.
- Se recomienda realizar un estudio de la composición química de las partículas retenidas por la foresta urbana a medida de conocer los compuestos y la forma de afectación que se está expuesta ante la emisión de gases contaminantes, según la fuente emisora y la ubicación de los mismos (fuente natural o antrópica y ubicación metropolitana y rural).

Capítulo VI: Bibliografía

- Aponte, C. (2017). *Evaluación de la retención de material atmosférico en suspensión por el arbolado de un corredor vial de la localidad de Kennedy (Bogotá D.C.)*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C.
- Buitrago, W., & Guzmán, M. (2017). *Determinación del comportamiento ácido de las precipitaciones en inmediaciones del resguardo indígena de la serranía El Majuy en Cota, Cundinamarca y su efecto en líquenes de la zona*. Cundinamarca.
- Caballero, A., & Roca, E. (2018). *La importancia de los estomas*. Alicante, España: Stoller Europe: www.stollereurope.com.
- Caro, C., & Torres, M. (2015). *Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas*. Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad de los Llanos , Villavicencio, Colombia.
- Chauca, M. (08 de Mayo de 2014). Arequipa cuenta con menos de un árbol por habitante. *La República*.
- Chinnusamy, V., Gong, Z., & Zhu, J.-K. (2008). Abscisic Acid-mediated Epigenetic Processes in Plant Development and Stress Responses. *Journal of Integrative Biology*, 1187-1195.
- CLARK University. (2018). *CLARK LABS*. Obtenido de IDRISI GIS Analysis in TerrSet: <https://clarklabs.org/terrset/idrisi-gis/>
- Codato, D., & Locatelli, B. (2015). *Evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos: Herramientas y aplicaciones*. Moyobamba.
- Colque, E. (2014). *Determinación del efecto de las emisiones del parque automotor sobre los estomas del "Fresno" Fraxinus excelsior*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Consultoría & Monitoreo Perú S.A.C. (2016). *Informe de monitoreo de calidad de agua, aire y ruido ambiental - Proyecto "Monitoreo de calidad de Agua, Aire y Ruido realizado en Congata - Uchumayo -Arequipa"*. Arequipa.

- Cuentas, L. (22 de Abril de 2019). *Arequipa: contaminación del aire aumentó en 30%*. Obtenido de La República: <https://larepublica.pe/sociedad/1454520-arequipa-contaminacion-aire-aumento-30-fotos/>
- DESA. (2017). *Monitoreo calidad ambiental*. Arequipa.
- Dextre Evangelista, E. D. (2016). *Comportamiento de las variables meteorológicas y su relación con la calidad de aire por material particulado PM_{2,5}, San Juan de Lurigancho*. Lima: Universidad César Vallejo.
- DIGESA. (2005). *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos*. Perú.
- Dineva, S. (2017). *Trees under polluted environment*. Bulgaria: Trakia University.
- Egas, C., Naulin, P., & Préndez, M. (2018). *Contaminación urbana por material particulado y su efecto sobre las características morfo-anatómicas de cuatro especies arbóreas de Santiago de Chile*. Santiago de Chile: Scielo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza.
- El Pueblo. (27 de febrero de 2017). *El Pueblo*. Obtenido de Contaminación del aire en Arequipa es cancerígena: <https://elpueblo.com.pe/contaminacion-del-aire-en-arequipa-es-cancerigena/>
- Fallas, J. (2012). *Análisis de Varianza comparando tres o más medias*. Montevideo.
- Fernández, N. (2017). *Caracterización de material particulado y plomo en el distrito de San Juan de Siguas - Arequipa*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- González, C., Vallarino, A., Pérez, J., & Low, A. (2014). *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*. México: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).
- González, C. (2002). *Beneficios del arbolado urbano*.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - Perú. (octubre de 2018). *INEI - Censos 2017*. Obtenido de Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1551/

- Laterra, P., Jobbagy, E., & Paruelo, J. (2011). *Valoración de servicios ecosistémicos*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires.
- M. Abián, e. a. (2014). *Minimización de emisiones de NOX y hollín en procesos de combustión*. Zaragoza: Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón.
- Martín, B. (15 de Marzo de 2019). *Vamos a morir de la contaminación ambiental si no actuamos*. Obtenido de El País: https://elpais.com/elpais/2019/03/15/ciencia/1552646209_822000.html
- Martin, P. (2005). *Contaminación del aire por material particulado en la ciudad de Buenos Aires*. Buenos Aires: Biblioteca Central Leloir.
- Martos, W., & Roncal, M. (2013). *Monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Méndez, D. (2017). *Descripción Manejo de HIVOL y LOWVOL - Anexo 7*. Bogotá: Universidad La Salle.
- MINAM. (14 de Julio de 2016). *Índice de Calidad del Aire*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/RM-N%C2%B0-181-2016-MINAM.pdf>
- MINAM. (2017). *Apruebas Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones complementarias, Decreto Supremo N°003-2017-MINAM. El Peruano, 4.*
- Minitab 18. (2019). *Minitab 18*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-method/>
- Mitsugi, H. (21 de Marzo de 2018). *El País*. Obtenido de https://elpais.com/elpais/2018/03/20/planeta_futuro/1521540752_368543.html
- MMA - Chile. (2012). *Informe Ambiental Programa Aire Limpio*. Obtenido de http://www.forestal.uchile.cl/documentos/informe-ambiental-2012_83250_0_4312.pdf
- Moms clean air Force. (2015). *Hollín y carbono negro*. moms-clean-air-force.org.

- Moreno, G., Martínez, E., Duplancic, A., & Alcalá, J. (2016). *Frecuencia de diferentes tamaños de material particulado en hojas de Morus alba en el arbolado urbano de Mendoza (Argentina)*. Mendoza, Argentina: Multequina.
- Municipalidad Alto Selva Alegre. (2017). *Instrumentos de Gestión Urbana Territorial, Aspectos técnicos complementarios al PDU*. Arequipa.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Organización Mundial de la Salud OMS. (2 de mayo de 2018). *Calidad del aire y salud*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Mundial de la Salud OMS. (24 de mayo de 2018). *Las 10 principales causas de defunción*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
- Pacha, M. J. (2014). *Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para la toma de decisiones: Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonía*. WWF INICIATIVA AMAZONIA VIVA, Brasil.
- Pardos, J. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid.
- Pardos, J. A. (2006). *La contaminación atmosférica y los ecosistemas forestales*. Madrid: ETS de Ingenieros de Montes.
- Parejo-Farnés, C., Aparicio, A., & Albaladejo, R. G. (2019). Una aproximación a la ecología epigenética en plantas. *Ecosistemas*, 69-74.
- Pulgar-Vidal, O. (2014). *Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014*. Lima: Ministerio del Ambiente (MINAM).
- Riojas, H., & Zúñiga, P. (2017). *Efectos en la salud por la contaminación atmosférica en México*. Instituto Nacional de Salud Pública, México.

- Riquelme, F. (2008). *Evaluación del uso de líquenes como indicadores biológicos de contaminación atmosférica en la Quebrada de la Planta, región metropolitana*. Universidad de Chile, Santiago.
- Sánchez, J. (2014). *Morus Alba*. www.arbolesornamentales.es.
- Santurún, A., Rasilla, D., Riancho, L., & Zarrabeitia, M. (2017). *Análisis de la relación entre la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y los contaminantes atmosféricos atendiendo al origen y trayectoria de las masas de aire en el Norte de España*. Santander: Elsevier España - SEPAR.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (9 de Mayo de 2019). Respuesta SAIP - ATFFS Arequipa CUT 2013-2019. Arequipa, Arequipa, Perú.
- Soto, J. (2015). *Determinación de la calidad del aire por Material Particulado (PM 10) en una vía pavimentada (Av. Antonio Maya de Brito) y una vía no pavimentada (Av. Colonización) en el distrito de Manantay, provincia de Coronel Portillo - Ucayali*. Pucallpa: Tesis - Universidad Nacional de Ucayali.
- Talavera, C., Jiménez, P., & Villasante, F. (1991). El recurso forestal en la región Arequipa: Diagnóstico y posibilidad. En O. Dancourt, E. Mayer, & C. Monge, *Perú el problema agrario en debate SEPIA V* (pág. 755). Arequipa: Seminario Permanente de Investigación Agraria.
- Talavera, C., Jiménez, P., & Villasante, F. (2000). Forestación urbana en ciudades de zonas áridas: La forestación en la ciudad de Arequipa como ejemplo inadecuado de forestación urbana. En J. E. Péfaur, *Ecología Latinoamericana* (pág. 492). Mérida - Venezuela: Universidad de los Andes.
- Talavera, C., Ortega, P., Jiménez, P., Villegas, L., Villasante, F., Vivanco, C., & Fernández, C. (2008). *Mapa de la vegetación en la cuenca del río Chili Arequipa - Perú*. Arequipa: Universidad nacional de San Agustín.
- The natural capital project. (2017). *InVEST 3.6.0 documentation*. Obtenido de <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/index.html#>
- Toharia, M. (30 de Mayo de 2018). *El País*. Obtenido de https://elpais.com/elpais/2018/05/07/seres_urbanos/1525688899_487227.html

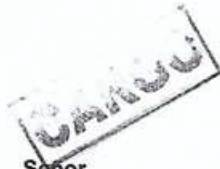
- Tovar, G. (2016). *Propuesta de plan para la gestión de la infraestructura verde urbana de Bogotá distrito capital*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- U. S. Geological Survey. (s.f.). *Social Values for Ecosystem Services (SolVES)*. Obtenido de https://www.usgs.gov/centers/gecsc/science/social-values-ecosystem-services-solves?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- Universidad San Martín de Porres. (Junio de 2016). *PERÚ: SUPERFICIE AGRÍCOLA EN HECTÁREAS, A NIVEL REGIONAL, PROVINCIAL Y DISTRITAL*. Obtenido de Supagrícola: usmp.edu.pe/idp/wp-content/uploads/2016/06/supagricola.xlsx
- Vieco, M. (2014). *Estimación de la remoción de material particulado por parte de tres especies arbóreas en un corredor vial de Medellín*. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín.
- Way, D. (Mayo de 2019). *Nature Ecology & Evolution*. Obtenido de Just the right temperature: https://www.nature.com/articles/s41559-019-0877-3.epdf?shared_access_token=hNqyzeT-RDZIU9BOraJCktRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0Mf3QIHNzordAulktH_FObZ02JXz3PUfchu49LmzutbCWBYhmJFn-NKZfp6DSJBYQZma2qKyd4cxmJScL8s9onq2P-YEB6PmiSzbl_HkL6WCQ%3D%3D&fbclid=IwAR2gdMfEIQqbrw
- Zúñiga, J., & Arenazas, A. (2006). *Apuntes de clase de Histología Vegetal*. Arequipa, Perú: Escuela Profesional y Académica de Biología. UNSA.

ANEXOS

Anexo 1: Solicitud distrital de Paucarpata

11532.18

Arequipa, 24 de setiembre del 2018



Señor
Lic. Luis Fernando Cornejo Nova
Alcalde de la Municipalidad de Paucarpata
Presente.-

Atención área: Sub Gerencia de Calidad Ambiental

De mi especial consideración

Tengo a bien dirigirme a usted para solicitar apoyo con respecto a mi plan de investigación de tesis para obtener mi título profesional de Ingeniería Ambiental.

Yo, Mauricio Alexander Suclla López, estudiante de la Universidad Católica de Santa María, elaborare la tesis con título: "Evaluación de la calidad del aire utilizando la especie *Morus alba* como bioindicador de contaminación por PM10 en puntos representativos de los distritos de Paucarpata, Cerro Colorado y Uchumayo" por el cual emplearé a un ejemplar del árbol Mora ubicado en cada distrito para realizar monitoreos periódicos.

El ejemplar empleado en el distrito de Paucarpata se encuentra ubicado cerca al cruce entre la calle Unión con la avenida Kennedy. Se propone la colocación de un enmallado alrededor de la base del árbol y un letrero indicando "objeto de tesis, no podar"; así como la disposición de un basurero cercano a fin de evitar que malos ciudadanos desechen sus residuos en la base del árbol.

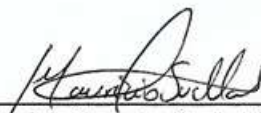
El ejemplar debe mantener su modalidad de mantenimiento: riego, limpieza, etc.; mas **NO PODAR**, esto con motivo que se realizará un estudio de sus hojas y como estas reaccionan frente a la contaminación por PM10.

El tiempo de estudio será de 03 meses empezando desde octubre hasta diciembre del presente año.

Solicito hacer llegar el documento al área respectiva para su conocimiento. Para cualquier coordinación mi número telefónico es 942741772, y e-mail: maualex.95@gmail.com

Agradezco su apoyo y reitero mi mayor consideración.

Atentamente



Mauricio Alexander Suclla López
Bachiller Ingeniería Ambiental
DNI: 71559599



Anexo 2: Solicitud distrital Uchumayo.

Arequipa, 24 de setiembre del 2018

Señor
Dr. Gilmar Luna Boyer
Alcalde de la Municipalidad de Uchumayo
Presente.-



Atención área: Mantenimiento de Áreas Verdes

De mi especial consideración

Tengo a bien dirigirme a usted para solicitar apoyo con respecto a mi plan de investigación de tesis para obtener mi título profesional de Ingeniería Ambiental.

Yo, Mauricio Alexander Sucla López, estudiante de la Universidad Católica de Santa María, elaborare la tesis con título: "Evaluación de la calidad del aire utilizando la especie *Morus alba* como bioindicador de contaminación por PM10 en puntos representativos de los distritos de Paucarpata, Cerro Colorado y Uchumayo" por el cual emplearé a un ejemplar del árbol Mora ubicado en cada distrito para realizar monitoreos periódicos.

El ejemplar empleado en el distrito de Uchumayo se encuentra ubicado cerca de la institución educativa inicial Cerro Verde, en la calle Virgen de Chapi, esquina con calle Condoroma. Se propone la colocación de un enmallado alrededor de la base del árbol y un letrero indicando "objeto de tesis, no podar"; así como la disposición de un basurero cercano a fin de evitar que malos ciudadanos desechen sus residuos en la base del árbol.


El ejemplar debe mantener su modalidad de mantenimiento: riego, limpieza, etc.; mas **NO PODAR**, esto con motivo que se realizará un estudio de sus hojas y como estas reaccionan frente a la contaminación por PM10.

El tiempo de estudio será de 03 meses empezando desde octubre hasta diciembre del presente año.

Solicito hacer llegar el documento al área respectiva para su conocimiento. Para cualquier coordinación mi número telefónico es 942741772, y e-mail: maualex.95@gmail.com

Agradezco su apoyo y reitero mi mayor consideración.

Atentamente



Mauricio Alexander Sucla López
Bachiller Ingeniería Ambiental
DNI: 71559599

Anexo 3: Certificado distrital de Uchumayo.



MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE UCHUMAYO

Gerencia de Gestión Ambiental y Servicios Públicos

AUTORIZACION

La Municipalidad Distrital de Uchumayo a través de la Gerencia de Gestión Ambiental y Servicios Públicos autoriza al Sr. Mauricio Alexander Suclla López estudiante de la Universidad Católica de Santa María, la colocación de un enmallado y letrero alrededor del ejemplar del árbol mora, ubicado cerca de la institución Inicial Cerro Verde, en la calle Virgen de Chapi, esquina con calle Condorama, el cual será usado como objeto de tesis.

Es importante mencionar que deberá de conservar en buen estado del área verde, así mismo cualquier percance que ocurriera es bajo responsabilidad suya.

Se expide la presente autorización a solicitud del interesado.

Uchumayo, 24 de Setiembre del 2018

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE UCHUMAYO

Deyker A. Mejiu Zegarra
(a Gerencia de Gestión Ambiental y Servicios Públicos)

- Urb. El Carmen, calle Sánchez Cerro Mz. G s/n - Congata / Telfs: 411241 / 411328
- Plaza Salaverry N° 100 - Uchumayo / Telefax: 493014
- www.muniuchumayo.gob.pe

UCHUMAYO
Mejorando tu Calidad de Vida

Anexo 4: Solicitud distrital Yura

Arequipa, 24 de setiembre del 2018

Señor
Luis Harry Gómez Ramírez
Alcalde de la Municipalidad de Yura
Presente.-

Atención área: Gerencia de Desarrollo Sostenible
Sub Gerencia de Gestión Ambiental



De mi especial consideración

Tengo a bien dirigirme a usted para solicitar apoyo con respecto a mi plan de investigación de tesis para obtener mi título profesional de Ingeniería Ambiental.

Yo, Mauricio Alexander Suclla López, estudiante de la Universidad Católica de Santa María, elaborare la tesis con título: "Evaluación de la calidad del aire utilizando la especie *Morus alba* como bioindicador de contaminación por PM10 en puntos representativos de los distritos de Paucarpata, Yura y Uchumayo" por el cual emplearé a un ejemplar del árbol Mora ubicado en cada distrito para realizar monitoreos periódicos.

El ejemplar empleado en el distrito de Yura se encuentra ubicado en el interior del centro de salud Ciudad de Dios, KM 14, Comité 10, Manzana F, Lote 1. Se propone la colocación de un enmallado alrededor de la base del árbol y un letrero indicando "objeto de tesis, no podar"; así como la disposición de un basurero cercano a fin de evitar que malos ciudadanos desechen sus residuos en la base del árbol.

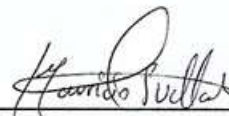
El ejemplar debe mantener su modalidad de mantenimiento: riego, limpieza, etc.; mas **NO PODAR**, esto con motivo que se realizará un estudio de sus hojas y como estas reaccionan frente a la contaminación por PM10.

El tiempo de estudio será de 03 meses empezando desde octubre hasta diciembre del presente año.

Solicito hacer llegar el documento al área respectiva para su conocimiento. Para cualquier coordinación mi número telefónico es 942741772, y e-mail: maualex.95@gmail.com

Agradezco su apoyo y reitero mi mayor consideración.

Atentamente



Mauricio Alexander Suclla López
Bachiller Ingeniería Ambiental
DNI: 71559599

Anexo 5: Solicitud Centro de salud Ciudad de Dios.

Arequipa, 27 de setiembre del 2018

Señor
Dr. Felix Ortega Dongo

Director del Centro de Salud de Ciudad de Dios.

Presente.-

De mi especial consideración

Tengo a bien dirigirme a usted para solicitar apoyo con respecto a mi plan de investigación de tesis para obtener mi título profesional de Ingeniería Ambiental.

Yo, Mauricio Alexander Suclla López, estudiante de la Universidad Católica de Santa María, elaborare la tesis con título: "Evaluación de la calidad del aire utilizando la especie *Morus alba* como bioindicador de contaminación por PM10 en puntos representativos de los distritos de Paucarpata, Yura y Uchumayo" por el cual emplearé a un ejemplar del árbol Mora ubicado en cada distrito para realizar monitoreos periódicos.

El ejemplar empleado en el distrito de Yura se encuentra ubicado en el interior del centro de salud Ciudad de Dios, KM 14, Comité 10, Manzana F, Lote 1. Se propone la colocación de un enmallado alrededor de la base del árbol y un letrero indicando "objeto de tesis, no podar"; así como la disposición de un basurero cercano a fin de evitar que malos ciudadanos desechen sus residuos en la base del árbol.

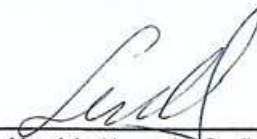
El ejemplar debe mantener su modalidad de mantenimiento: riego, limpieza, etc.; mas **NO PODAR**, esto con motivo que se realizará un estudio de sus hojas y como estas reaccionan frente a la contaminación por PM10.

El tiempo de estudio será de 03 meses empezando desde octubre hasta diciembre del presente año.

Solicito hacer llegar el documento al área respectiva para su conocimiento. Para cualquier coordinación mi número telefónico es 942741772, y e-mail: maualex.95@gmail.com

Agradezco su apoyo y reitero mi mayor consideración.

Atentamente



Mauricio Alexander Suclla López
Bachiller Ingeniería Ambiental
DNI: 71559599



Anexo 6: Solicitud a la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental.

Arequipa, 24 de setiembre del 2018

Dr. Edwin Bengoa Feria
Gerente Regional de Salud

Atención: Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental
Área de Ecología y Protección del Medio Ambiente.

De mi especial consideración

Tengo a bien dirigirme a usted para solicitar apoyo con respecto a mi plan de investigación de tesis para obtener mi título profesional de Ingeniería Ambiental.

Yo, Mauricio Alexander Suclla López, estudiante de la Universidad Católica de Santa María, elaborare la tesis con título: "Evaluación de la calidad del aire utilizando la especie *Morus alba* como bioindicador de contaminación por PM10 en puntos representativos de los distritos de Paucarpata, Cerro Colorado y Uchumayo".

Por el cual solicito:


- a) Reportes de monitoreo de calidad ambiental por PM10 de las zonas de Cerro Colorado, Paucarpata y Uchumayo por un tiempo de 03 meses empezando desde octubre hasta diciembre del presente año.
- b) Empleo de los filtros de cuarzo post monitoreo para realizar un estudio de las características de los contaminantes adheridos al filtro.

El empleo de los datos y resultados obtenidos de la investigación servirán para conocer en mejor proporción la calidad ambiental de las zonas estudiadas conforme a la biota y para la planificación de una propuesta en mejora a la gestión urbana forestal de la ciudad de Arequipa.

Solicito hacer llegar el documento al área respectiva para su conocimiento. Para cualquier coordinación mi número telefónico es 942741772, y e-mail: maualex.95@gmail.com

Agradezco su apoyo y reitero mi mayor consideración.

Atentamente



Mauricio Alexander Suclla López
Bachiller Ingeniería Ambiental
DNI: 71559599



Anexo 7: Fotografías de equipos "Impactador Harvard Low-Vol" empleados en los puntos de monitoreo de los sectores de Paucarpata, Uchumayo y Yura.

PAUCARPATA



UCHUMAYO



YURA



Anexo 8: Carta de especies arbóreas SERFOR.



PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego

SERFOR

MINAGRI-MINAGRI-SERFOR -
VENTANILLA CENTRAL ATFFS
AREQUIPA

CUT: 00020123-2019

L.GONZALES-28/04/2019 16:00:39



051900048470

FORMULARIO F1

SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA

(Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM)

I. FUNCIONARIO RESPONSABLE DE ENTREGAR LA INFORMACIÓN			
Alejandra Delgado Cárdenas			
II. DATOS DEL SOLICITANTE			
APELLIDOS Y NOMBRES / RAZÓN SOCIAL		DOCUMENTO DE IDENTIDAD	
Suclla López, Mauricio Alexander		D.N.I / L.M / C.E OTRO 71559599	
DOMICILIO			
AV. / CALLE – JR. / PSJ	N° /. DPTO / INT	DISTRITO	URBANIZACIÓN
PSj. Pichincha	E-15, 1era etapa	Jose Luis Bustamante y Rivero	Juan Pablo Vizcardo y Guzman
PROVINCIA	DEPARTAMENTO	CORREO ELECTRÓNICO	TELÉFONO
Arequipa	Arequipa	maualex.95@gmail.com	942741772
III. INFORMACIÓN SOLICITADA			
a) Información del censo forestal de los últimos años de los distritos de Paucarpata, Uchumayo y Yura del departamento de Arequipa. 2019-2018			
b) Especies forestales empleadas en proyectos de reforestación en Arequipa, de preferencia en los distritos de Paucarpata, Uchumayo y Yura.			
IV. DEPENDENCIA DE LA CUAL SE REQUIERE LA INFORMACIÓN			
SERFOR - Arequipa			
V. FORMA DE ENTREGA DE LA INFORMACIÓN (MARCAR CON UNA "X" Ver Nota)			
COPIA SIMPLE	<input type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>
CORREO ELECTRÓNICO	<input checked="" type="checkbox"/>	OTRO	<input type="checkbox"/>
APELLIDOS Y NOMBRES		FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN	
.....Suclla López, Mauricio Alexander.....		26/04/2019	
 FIRMA		3:56 pm	

EL PERÚ PRIMERO

Anexo 9: Cuadro de data Hojas analizadas por microscopio óptico.

	Yura		Uchumayo		Paucarpata
Octubre	31	Octubre	29	Octubre	45
Octubre	30	Octubre	30	Octubre	37
Octubre	20	Octubre	29	Octubre	31
Octubre	25	Octubre	27	Octubre	35
Octubre	23	Octubre	23	Octubre	34
Octubre	27	Octubre	25	Octubre	33
Octubre	23	Octubre	27	Octubre	34
Octubre	27	Octubre	23	Octubre	32
Octubre	21	Octubre	23	Octubre	37
Octubre	21	Octubre	28	Octubre	32
Octubre	26	Octubre	28	Octubre	29
Octubre	27	Octubre	27	Octubre	36
Octubre	30	Octubre	25	Octubre	29
Octubre	25	Octubre	26	Octubre	37
Octubre	24	Octubre	23	Octubre	36
Octubre	20	Octubre	31	Octubre	28
Octubre	29	Octubre	29	Octubre	42
Octubre	26	Octubre	30	Octubre	35
Octubre	36	Octubre	30	Octubre	28
Octubre	36	Octubre	27	Octubre	33
Octubre	36	Octubre	32	Octubre	36
Octubre	19	Octubre	26	Octubre	35
Octubre	21	Octubre	36	Octubre	41
Octubre	32	Octubre	29	Octubre	38
Octubre	33	Octubre	31	Octubre	34
Octubre	25	Octubre	29	Octubre	40
Octubre	27	Octubre	26	Octubre	35
Octubre	36	Octubre	24	Octubre	38
Octubre	36	Octubre	27	Octubre	35
Octubre	30	Octubre	29	Octubre	39
Octubre	28	Octubre	28	Octubre	30
Octubre	28	Octubre	31	Octubre	33
Octubre	26	Octubre	34	Octubre	36
Octubre	26	Octubre	31	Octubre	38
Octubre	17	Octubre	25	Octubre	40
Octubre	24	Octubre	29	Octubre	34
Octubre	25	Octubre	26	Octubre	29
Octubre	20	Octubre	31	Octubre	34
Octubre	20	Octubre	32	Octubre	34
Octubre	26	Octubre	32	Octubre	33
Octubre	26	Octubre	32	Octubre	36
Octubre	23	Octubre	24	Octubre	34
Octubre	29	Octubre	27	Octubre	33
Octubre	31	Octubre	29	Octubre	35
Octubre	28	Octubre	30	Octubre	37
Octubre	30	Octubre	32	Octubre	33
Octubre	28	Octubre	33	Octubre	37
Octubre	26	Octubre	28	Octubre	32
Octubre	30	Octubre	34	Octubre	39
Octubre	28	Octubre	37	Octubre	32
Octubre	22	Octubre	38	Octubre	34
Octubre	18	Octubre	38	Octubre	36
Octubre	23	Octubre	34	Octubre	37

Octubre	21	Octubre	33	Octubre	42
Octubre	19	Octubre	28	Octubre	36
Octubre	27	Octubre	43	Octubre	35
Octubre	20	Octubre	40	Octubre	33
Octubre	23	Octubre	34	Octubre	35
Octubre	24	Octubre	43	Octubre	31
Octubre	25	Octubre	26	Octubre	33
Octubre	29	Octubre	31	Octubre	34
Octubre	25	Octubre	32	Octubre	33
Octubre	25	Octubre	26	Octubre	34
Octubre	23	Octubre	28	Octubre	31
Octubre	24	Octubre	40	Octubre	34
Octubre	18	Octubre	34	Octubre	37
Octubre	28	Octubre	28	Octubre	33
Octubre	29	Octubre	31	Octubre	32
Octubre	29	Octubre	28	Octubre	37
Octubre	25	Octubre	46	Octubre	35
Octubre	24	Octubre	30	Octubre	37
Octubre	22	Octubre	30	Octubre	34
Octubre	25	Octubre	25	Octubre	34
Octubre	26	Octubre	31	Octubre	36
Octubre	27	Octubre	35	Octubre	38
Octubre	26	Octubre	27	Octubre	36
Octubre	23	Octubre	26	Octubre	39
Octubre	26	Octubre	28	Octubre	34
Octubre	28	Octubre	25	Octubre	40
Octubre	19	Octubre	36	Octubre	36
Octubre	30	Octubre	30	Octubre	35
Octubre	25	Octubre	27	Octubre	33
Octubre	24	Octubre	35	Octubre	37
Octubre	26	Octubre	34	Octubre	35
Octubre	23	Octubre	33	Octubre	36
Octubre	23	Octubre	28	Octubre	33
Octubre	24	Octubre	32	Octubre	37
Octubre	21	Octubre	33	Octubre	33
Octubre	25	Octubre	34	Octubre	38
Octubre	24	Octubre	30	Octubre	35
Octubre	43	Octubre	38	Octubre	30
Octubre	47	Octubre	38	Octubre	37
Octubre	42	Octubre	41	Octubre	38
Octubre	40	Octubre	38	Octubre	33
Octubre	41	Octubre	33	Octubre	30
Octubre	46	Octubre	39	Octubre	41
Octubre	39	Octubre	42	Octubre	37
Octubre	42	Octubre	34	Octubre	41
Octubre	49	Octubre	38	Octubre	37
Octubre	42	Octubre	37	Octubre	35
Octubre	41	Octubre	37	Octubre	39
Octubre	36	Octubre	32	Octubre	43
Octubre	44	Octubre	35	Octubre	35
Octubre	38	Octubre	38	Octubre	38
Octubre	39	Octubre	37	Octubre	36
Octubre	39	Octubre	33	Octubre	38
Octubre	42	Octubre	38	Octubre	36
Octubre	41	Octubre	40	Octubre	35
Octubre	41	Octubre	36	Octubre	36

Octubre	46	Octubre	32	Octubre	38
Octubre	46	Octubre	35	Octubre	40
Octubre	42	Octubre	35	Octubre	39
Octubre	35	Octubre	36	Octubre	45
Octubre	47	Octubre	35	Octubre	42
Octubre	46	Octubre	38	Octubre	36
Octubre	43	Octubre	37	Octubre	37
Octubre	37	Octubre	37	Octubre	40
Octubre	44	Octubre	38	Octubre	34
Octubre	43	Octubre	34	Octubre	38
Octubre	45	Octubre	38	Octubre	43
Octubre	32	Octubre	38	Octubre	42
Octubre	29	Octubre	37	Octubre	48
Octubre	34	Octubre	45	Octubre	43
Octubre	32	Octubre	35	Octubre	39
Octubre	29	Octubre	39	Octubre	47
Octubre	32	Octubre	42	Octubre	43
Octubre	35	Octubre	31	Octubre	48
Octubre	37	Octubre	46	Octubre	48
Octubre	28	Octubre	35	Octubre	48
Octubre	33	Octubre	34	Octubre	38
Octubre	34	Octubre	39	Octubre	43
Octubre	33	Octubre	42	Octubre	46
Octubre	27	Octubre	39	Octubre	47
Octubre	36	Octubre	44	Octubre	41
Octubre	30	Octubre	46	Octubre	44
Octubre	31	Octubre	40	Octubre	44
Octubre	31	Octubre	48	Octubre	40
Octubre	33	Octubre	42	Octubre	42
Octubre	28	Octubre	44	Octubre	34
Octubre	33	Octubre	39	Octubre	46
Octubre	28	Octubre	35	Octubre	44
Octubre	31	Octubre	35	Octubre	41
Octubre	30	Octubre	37	Octubre	41
Octubre	32	Octubre	37	Octubre	39
Octubre	32	Octubre	38	Octubre	42
Octubre	29	Octubre	40	Octubre	40
Octubre	27	Octubre	36	Octubre	43
Octubre	29	Octubre	35	Octubre	47
Octubre	28	Octubre	37	Octubre	40
Octubre	27	Octubre	33	Octubre	42
Octubre	31	Octubre	35	Octubre	36
Octubre	31	Octubre	38	Octubre	38
Octubre	27	Octubre	41	Octubre	35
Octubre	32	Octubre	32	Octubre	41
Octubre	29	Octubre	35	Octubre	36
Octubre	29	Octubre	39	Octubre	37
Octubre	28	Octubre	35	Octubre	38
Octubre	33	Octubre	35	Octubre	34
Octubre	35	Octubre	41	Octubre	33
Octubre	26	Octubre	37	Octubre	40
Octubre	29	Octubre	39	Octubre	32
Octubre	27	Octubre	36	Octubre	37
Octubre	33	Octubre	37	Octubre	41
Octubre	29	Octubre	37	Octubre	40
Octubre	33	Octubre	30	Octubre	44

Octubre	31	Octubre	36	Octubre	42
Octubre	34	Octubre	36	Octubre	39
Octubre	29	Octubre	35	Octubre	34
Octubre	28	Octubre	35	Octubre	36
Octubre	26	Octubre	37	Octubre	36
Octubre	29	Octubre	38	Octubre	37
Octubre	28	Octubre	35	Octubre	34
Octubre	26	Octubre	39	Octubre	39
Octubre	30	Octubre	28	Octubre	37
Octubre	33	Octubre	37	Octubre	38
Octubre	31	Octubre	36	Octubre	39
Octubre	32	Octubre	34	Octubre	32
Octubre	29	Octubre	38	Octubre	34
Octubre	33	Octubre	34	Octubre	35
Octubre	34	Octubre	37	Octubre	32
Noviembre	30	Noviembre	37	Noviembre	33
Noviembre	30	Noviembre	34	Noviembre	39
Noviembre	28	Noviembre	36	Noviembre	40
Noviembre	29	Noviembre	40	Noviembre	34
Noviembre	31	Noviembre	39	Noviembre	35
Noviembre	35	Noviembre	35	Noviembre	35
Noviembre	32	Noviembre	39	Noviembre	33
Noviembre	29	Noviembre	41	Noviembre	37
Noviembre	36	Noviembre	37	Noviembre	34
Noviembre	39	Noviembre	38	Noviembre	39
Noviembre	27	Noviembre	48	Noviembre	40
Noviembre	28	Noviembre	43	Noviembre	32
Noviembre	28	Noviembre	46	Noviembre	44
Noviembre	31	Noviembre	51	Noviembre	34
Noviembre	29	Noviembre	47	Noviembre	33
Noviembre	27	Noviembre	44	Noviembre	38
Noviembre	29	Noviembre	46	Noviembre	37
Noviembre	26	Noviembre	47	Noviembre	38
Noviembre	27	Noviembre	42	Noviembre	46
Noviembre	26	Noviembre	46	Noviembre	35
Noviembre	30	Noviembre	40	Noviembre	35
Noviembre	26	Noviembre	42	Noviembre	34
Noviembre	31	Noviembre	45	Noviembre	47
Noviembre	28	Noviembre	38	Noviembre	35
Noviembre	25	Noviembre	40	Noviembre	39
Noviembre	29	Noviembre	43	Noviembre	38
Noviembre	30	Noviembre	41	Noviembre	37
Noviembre	27	Noviembre	44	Noviembre	38
Noviembre	30	Noviembre	43	Noviembre	37
Noviembre	31	Noviembre	42	Noviembre	39
Noviembre	27	Noviembre	39	Noviembre	39
Noviembre	28	Noviembre	33	Noviembre	34
Noviembre	32	Noviembre	35	Noviembre	36
Noviembre	30	Noviembre	34	Noviembre	48
Noviembre	33	Noviembre	36	Noviembre	38
Noviembre	30	Noviembre	38	Noviembre	40
Noviembre	29	Noviembre	36	Noviembre	35
Noviembre	31	Noviembre	33	Noviembre	40
Noviembre	27	Noviembre	31	Noviembre	39
Noviembre	28	Noviembre	37	Noviembre	37
Noviembre	26	Noviembre	39	Noviembre	33

Noviembre	29	Noviembre	36	Noviembre	37
Noviembre	32	Noviembre	38	Noviembre	36
Noviembre	29	Noviembre	34	Noviembre	43
Noviembre	30	Noviembre	40	Noviembre	41
Noviembre	28	Noviembre	39	Noviembre	39
Noviembre	31	Noviembre	33	Noviembre	34
Noviembre	32	Noviembre	41	Noviembre	40
Noviembre	27	Noviembre	35	Noviembre	35
Noviembre	30	Noviembre	37	Noviembre	37
Noviembre	30	Noviembre	33	Noviembre	35
Noviembre	29	Noviembre	37	Noviembre	33
Noviembre	29	Noviembre	35	Noviembre	36
Noviembre	28	Noviembre	34	Noviembre	42
Noviembre	27	Noviembre	36	Noviembre	39
Noviembre	31	Noviembre	42	Noviembre	32
Noviembre	27	Noviembre	38	Noviembre	37
Noviembre	30	Noviembre	32	Noviembre	38
Noviembre	31	Noviembre	37	Noviembre	33
Noviembre	27	Noviembre	36	Noviembre	37
Noviembre	27	Noviembre	36	Noviembre	33
Noviembre	33	Noviembre	33	Noviembre	32
Noviembre	29	Noviembre	37	Noviembre	39
Noviembre	28	Noviembre	34	Noviembre	33
Noviembre	31	Noviembre	33	Noviembre	38
Noviembre	32	Noviembre	32	Noviembre	36
Noviembre	30	Noviembre	33	Noviembre	34
Noviembre	28	Noviembre	32	Noviembre	37
Noviembre	29	Noviembre	35	Noviembre	39
Noviembre	31	Noviembre	36	Noviembre	38
Noviembre	29	Noviembre	35	Noviembre	34
Noviembre	31	Noviembre	39	Noviembre	36
Noviembre	30	Noviembre	36	Noviembre	39
Noviembre	27	Noviembre	33	Noviembre	36
Noviembre	28	Noviembre	31	Noviembre	35
Noviembre	31	Noviembre	38	Noviembre	39
Noviembre	32	Noviembre	36	Noviembre	37
Noviembre	27	Noviembre	34	Noviembre	36
Noviembre	32	Noviembre	38	Noviembre	38
Noviembre	30	Noviembre	36	Noviembre	39
Noviembre	31	Noviembre	38	Noviembre	41
Noviembre	29	Noviembre	40	Noviembre	46
Noviembre	28	Noviembre	37	Noviembre	44
Noviembre	28	Noviembre	42	Noviembre	38
Noviembre	30	Noviembre	38	Noviembre	38
Noviembre	26	Noviembre	34	Noviembre	40
Noviembre	31	Noviembre	38	Noviembre	37
Noviembre	30	Noviembre	35	Noviembre	49
Noviembre	29	Noviembre	42	Noviembre	40
Noviembre	28	Noviembre	41	Noviembre	38
Noviembre	32	Noviembre	42	Noviembre	39
Noviembre	30	Noviembre	38	Noviembre	42
Noviembre	29	Noviembre	35	Noviembre	40
Noviembre	29	Noviembre	37	Noviembre	48
Noviembre	30	Noviembre	36	Noviembre	41
Noviembre	31	Noviembre	39	Noviembre	44
Noviembre	32	Noviembre	36	Noviembre	38

Noviembre	28	Noviembre	44	Noviembre	41
Noviembre	27	Noviembre	37	Noviembre	37
Noviembre	30	Noviembre	36	Noviembre	45
Noviembre	27	Noviembre	37	Noviembre	45
Noviembre	28	Noviembre	36	Noviembre	38
Noviembre	28	Noviembre	39	Noviembre	39
Noviembre	26	Noviembre	37	Noviembre	41
Noviembre	30	Noviembre	38	Noviembre	45
Noviembre	29	Noviembre	37	Noviembre	46
Noviembre	31	Noviembre	36	Noviembre	41
Noviembre	26	Noviembre	40	Noviembre	45
Noviembre	27	Noviembre	43	Noviembre	38
Noviembre	28	Noviembre	41	Noviembre	40
Noviembre	30	Noviembre	42	Noviembre	33
Noviembre	26	Noviembre	41	Noviembre	41
Noviembre	27	Noviembre	44	Noviembre	44
Noviembre	27	Noviembre	28	Noviembre	42
Noviembre	28	Noviembre	39	Noviembre	34
Noviembre	30	Noviembre	38	Noviembre	41
Noviembre	26	Noviembre	40	Noviembre	43
Noviembre	24	Noviembre	39	Noviembre	42
Noviembre	29	Noviembre	36	Noviembre	41
Noviembre	28	Noviembre	39	Noviembre	40
Noviembre	30	Noviembre	35	Noviembre	37
Noviembre	30	Noviembre	39	Noviembre	35
Noviembre	29	Noviembre	38	Noviembre	41
Noviembre	28	Noviembre	40	Noviembre	36
Noviembre	32	Noviembre	41	Noviembre	35
Noviembre	29	Noviembre	37	Noviembre	35
Noviembre	33	Noviembre	37	Noviembre	40
Noviembre	30	Noviembre	38	Noviembre	39
Noviembre	31	Noviembre	40	Noviembre	41
Noviembre	27	Noviembre	41	Noviembre	42
Noviembre	30	Noviembre	34	Noviembre	36
Noviembre	32	Noviembre	40	Noviembre	40
Noviembre	29	Noviembre	37	Noviembre	38
Noviembre	28	Noviembre	38	Noviembre	41
Noviembre	30	Noviembre	38	Noviembre	39
Noviembre	31	Noviembre	39	Noviembre	40
Noviembre	27	Noviembre	37	Noviembre	37
Noviembre	26	Noviembre	39	Noviembre	36
Noviembre	30	Noviembre	40	Noviembre	38
Noviembre	31	Noviembre	37	Noviembre	40
Noviembre	31	Noviembre	43	Noviembre	41
Noviembre	31	Noviembre	40	Noviembre	37
Noviembre	32	Noviembre	41	Noviembre	36
Noviembre	29	Noviembre	39	Noviembre	33
Noviembre	29	Noviembre	40	Noviembre	37
Noviembre	30	Noviembre	41	Noviembre	40
Noviembre	32	Noviembre	43	Noviembre	39
Noviembre	28	Noviembre	43	Noviembre	36
Noviembre	30	Noviembre	40	Noviembre	40
Noviembre	31	Noviembre	41	Noviembre	35
Noviembre	37	Noviembre	35	Noviembre	38
Noviembre	32	Noviembre	36	Noviembre	40
Noviembre	31	Noviembre	38	Noviembre	37

Noviembre	30	Noviembre	35	Noviembre	37
Noviembre	31	Noviembre	36	Noviembre	38
Noviembre	29	Noviembre	34	Noviembre	34
Noviembre	30	Noviembre	39	Noviembre	36
Noviembre	29	Noviembre	40	Noviembre	41
Noviembre	32	Noviembre	36	Noviembre	42
Noviembre	29	Noviembre	34	Noviembre	38
Noviembre	31	Noviembre	38	Noviembre	42
Noviembre	34	Noviembre	39	Noviembre	38
Noviembre	31	Noviembre	34	Noviembre	39
Noviembre	32	Noviembre	34	Noviembre	41
Noviembre	33	Noviembre	39	Noviembre	38
Noviembre	30	Noviembre	40	Noviembre	43
Noviembre	33	Noviembre	37	Noviembre	39
Noviembre	31	Noviembre	36	Noviembre	40
Noviembre	30	Noviembre	39	Noviembre	41
Noviembre	29	Noviembre	38	Noviembre	39
Noviembre	32	Noviembre	37	Noviembre	40
Noviembre	26	Noviembre	32	Noviembre	38
Noviembre	31	Noviembre	35	Noviembre	44
Noviembre	35	Noviembre	36	Noviembre	36
Noviembre	33	Noviembre	37	Noviembre	43
Noviembre	30	Noviembre	37	Noviembre	41
Noviembre	27	Noviembre	35	Noviembre	37
Noviembre	36	Noviembre	38	Noviembre	40
Noviembre	34	Noviembre	38	Noviembre	41
Noviembre	30	Noviembre	39	Noviembre	39
Diciembre	39	Diciembre	33	Diciembre	33
Diciembre	34	Diciembre	37	Diciembre	38
Diciembre	34	Diciembre	32	Diciembre	34
Diciembre	29	Diciembre	35	Diciembre	35
Diciembre	33	Diciembre	33	Diciembre	34
Diciembre	30	Diciembre	31	Diciembre	34
Diciembre	32	Diciembre	36	Diciembre	33
Diciembre	31	Diciembre	38	Diciembre	32
Diciembre	33	Diciembre	40	Diciembre	35
Diciembre	31	Diciembre	39	Diciembre	30
Diciembre	31	Diciembre	34	Diciembre	30
Diciembre	35	Diciembre	33	Diciembre	33
Diciembre	32	Diciembre	33	Diciembre	31
Diciembre	29	Diciembre	32	Diciembre	29
Diciembre	32	Diciembre	33	Diciembre	32
Diciembre	29	Diciembre	37	Diciembre	34
Diciembre	30	Diciembre	36	Diciembre	31
Diciembre	31	Diciembre	33	Diciembre	33
Diciembre	35	Diciembre	39	Diciembre	34
Diciembre	33	Diciembre	42	Diciembre	33
Diciembre	29	Diciembre	35	Diciembre	36
Diciembre	30	Diciembre	34	Diciembre	33
Diciembre	28	Diciembre	35	Diciembre	32
Diciembre	31	Diciembre	36	Diciembre	33
Diciembre	32	Diciembre	37	Diciembre	30
Diciembre	33	Diciembre	38	Diciembre	35
Diciembre	32	Diciembre	36	Diciembre	36
Diciembre	33	Diciembre	34	Diciembre	32
Diciembre	29	Diciembre	39	Diciembre	37

Diciembre	32	Diciembre	37	Diciembre	34
Diciembre	30	Diciembre	32	Diciembre	29
Diciembre	33	Diciembre	31	Diciembre	33
Diciembre	30	Diciembre	36	Diciembre	34
Diciembre	32	Diciembre	38	Diciembre	33
Diciembre	29	Diciembre	35	Diciembre	32
Diciembre	38	Diciembre	35	Diciembre	34
Diciembre	30	Diciembre	39	Diciembre	33
Diciembre	31	Diciembre	35	Diciembre	30
Diciembre	32	Diciembre	34	Diciembre	28
Diciembre	29	Diciembre	32	Diciembre	31
Diciembre	28	Diciembre	35	Diciembre	34
Diciembre	30	Diciembre	33	Diciembre	30
Diciembre	31	Diciembre	35	Diciembre	33
Diciembre	28	Diciembre	38	Diciembre	31
Diciembre	29	Diciembre	36	Diciembre	34
Diciembre	32	Diciembre	36	Diciembre	33
Diciembre	31	Diciembre	37	Diciembre	32
Diciembre	31	Diciembre	35	Diciembre	31
Diciembre	28	Diciembre	33	Diciembre	36
Diciembre	27	Diciembre	37	Diciembre	30
Diciembre	30	Diciembre	39	Diciembre	36
Diciembre	31	Diciembre	38	Diciembre	35
Diciembre	29	Diciembre	34	Diciembre	34
Diciembre	29	Diciembre	32	Diciembre	36
Diciembre	32	Diciembre	33	Diciembre	33
Diciembre	30	Diciembre	38	Diciembre	36
Diciembre	34	Diciembre	40	Diciembre	29
Diciembre	28	Diciembre	34	Diciembre	33
Diciembre	29	Diciembre	34	Diciembre	31
Diciembre	33	Diciembre	33	Diciembre	32
Diciembre	29	Diciembre	31	Diciembre	30
Diciembre	30	Diciembre	30	Diciembre	26
Diciembre	28	Diciembre	29	Diciembre	35
Diciembre	31	Diciembre	33	Diciembre	32
Diciembre	32	Diciembre	36	Diciembre	30
Diciembre	28	Diciembre	34	Diciembre	29
Diciembre	32	Diciembre	33	Diciembre	20
Diciembre	31	Diciembre	34	Diciembre	28
Diciembre	30	Diciembre	32	Diciembre	29
Diciembre	31	Diciembre	31	Diciembre	31
Diciembre	29	Diciembre	32	Diciembre	31
Diciembre	32	Diciembre	30	Diciembre	30
Diciembre	30	Diciembre	33	Diciembre	32
Diciembre	29	Diciembre	30	Diciembre	29
Diciembre	33	Diciembre	31	Diciembre	33
Diciembre	32	Diciembre	34	Diciembre	29
Diciembre	33	Diciembre	33	Diciembre	30
Diciembre	29	Diciembre	32	Diciembre	35
Diciembre	29	Diciembre	31	Diciembre	31
Diciembre	31	Diciembre	29	Diciembre	33
Diciembre	26	Diciembre	31	Diciembre	30
Diciembre	29	Diciembre	33	Diciembre	29
Diciembre	29	Diciembre	29	Diciembre	28
Diciembre	30	Diciembre	35	Diciembre	30
Diciembre	30	Diciembre	34	Diciembre	31

Diciembre	26	Diciembre	30	Diciembre	34
Diciembre	31	Diciembre	32	Diciembre	35
Diciembre	32	Diciembre	30	Diciembre	33
Diciembre	30	Diciembre	31	Diciembre	34
Diciembre	31	Diciembre	32	Diciembre	31
Diciembre	32	Diciembre	30	Diciembre	37
Diciembre	29	Diciembre	35	Diciembre	30
Diciembre	33	Diciembre	30	Diciembre	35
Diciembre	26	Diciembre	29	Diciembre	34
Diciembre	28	Diciembre	27	Diciembre	32
Diciembre	33	Diciembre	28	Diciembre	37
Diciembre	34	Diciembre	28	Diciembre	36
Diciembre	25	Diciembre	25	Diciembre	31
Diciembre	24	Diciembre	32	Diciembre	36
Diciembre	30	Diciembre	30	Diciembre	34
Diciembre	37	Diciembre	32	Diciembre	36
Diciembre	35	Diciembre	32	Diciembre	36
Diciembre	39	Diciembre	35	Diciembre	35
Diciembre	32	Diciembre	38	Diciembre	31
Diciembre	34	Diciembre	34	Diciembre	35
Diciembre	35	Diciembre	33	Diciembre	34
Diciembre	32	Diciembre	28	Diciembre	30
Diciembre	31	Diciembre	27	Diciembre	38
Diciembre	33	Diciembre	30	Diciembre	35
Diciembre	30	Diciembre	32	Diciembre	35
Diciembre	30	Diciembre	33	Diciembre	34
Diciembre	30	Diciembre	31	Diciembre	37
Diciembre	35	Diciembre	30	Diciembre	36
Diciembre	36	Diciembre	36	Diciembre	38
Diciembre	37	Diciembre	27	Diciembre	33
Diciembre	36	Diciembre	34	Diciembre	34
Diciembre	33	Diciembre	35	Diciembre	38
Diciembre	35	Diciembre	33	Diciembre	36
Diciembre	34	Diciembre	30	Diciembre	35
Diciembre	30	Diciembre	29	Diciembre	33
Diciembre	31	Diciembre	30	Diciembre	37
Diciembre	27	Diciembre	27	Diciembre	35
Diciembre	30	Diciembre	33	Diciembre	36
Diciembre	32	Diciembre	28	Diciembre	40
Diciembre	35	Diciembre	33	Diciembre	31
Diciembre	35	Diciembre	32	Diciembre	39
Diciembre	28	Diciembre	29	Diciembre	36
Diciembre	30	Diciembre	31	Diciembre	35
Diciembre	32	Diciembre	29	Diciembre	38
Diciembre	30	Diciembre	32	Diciembre	34
Diciembre	28	Diciembre	30	Diciembre	33
Diciembre	29	Diciembre	32	Diciembre	37
Diciembre	29	Diciembre	29	Diciembre	32
Diciembre	28	Diciembre	33	Diciembre	35
Diciembre	31	Diciembre	28	Diciembre	33
Diciembre	32	Diciembre	30	Diciembre	32
Diciembre	30	Diciembre	31	Diciembre	35
Diciembre	33	Diciembre	28	Diciembre	37
Diciembre	31	Diciembre	33	Diciembre	36
Diciembre	29	Diciembre	34	Diciembre	34
Diciembre	29	Diciembre	27	Diciembre	34

Diciembre	31	Diciembre	29	Diciembre	33
Diciembre	28	Diciembre	33	Diciembre	34
Diciembre	29	Diciembre	28	Diciembre	32
Diciembre	30	Diciembre	26	Diciembre	36
Diciembre	32	Diciembre	29	Diciembre	37
Diciembre	30	Diciembre	27	Diciembre	33
Diciembre	31	Diciembre	32	Diciembre	33
Diciembre	32	Diciembre	34	Diciembre	30
Diciembre	29	Diciembre	30	Diciembre	29
Diciembre	24	Diciembre	34	Diciembre	34
Diciembre	20	Diciembre	29	Diciembre	36
Diciembre	21	Diciembre	30	Diciembre	32
Diciembre	25	Diciembre	34	Diciembre	39
Diciembre	23	Diciembre	33	Diciembre	41
Diciembre	25	Diciembre	27	Diciembre	33
Diciembre	24	Diciembre	31	Diciembre	38
Diciembre	30	Diciembre	32	Diciembre	34
Diciembre	29	Diciembre	28	Diciembre	35
Diciembre	26	Diciembre	31	Diciembre	32
Diciembre	25	Diciembre	28	Diciembre	35
Diciembre	28	Diciembre	30	Diciembre	36
Diciembre	26	Diciembre	32	Diciembre	28
Diciembre	25	Diciembre	31	Diciembre	35
Diciembre	23	Diciembre	28	Diciembre	34
Diciembre	20	Diciembre	34	Diciembre	34
Diciembre	21	Diciembre	35	Diciembre	31
Diciembre	26	Diciembre	35	Diciembre	33
Diciembre	33	Diciembre	29	Diciembre	31
Diciembre	30	Diciembre	31	Diciembre	32
Diciembre	23	Diciembre	34	Diciembre	39
Diciembre	26	Diciembre	35	Diciembre	32
Diciembre	25	Diciembre	32	Diciembre	35
Diciembre	21	Diciembre	31	Diciembre	34
Diciembre	24	Diciembre	31	Diciembre	32
Diciembre	23	Diciembre	33	Diciembre	30
Diciembre	25	Diciembre	29	Diciembre	37
Diciembre	30	Diciembre	32	Diciembre	35
Diciembre	30	Diciembre	33	Diciembre	36
Diciembre	26	Diciembre	30	Diciembre	31

Anexo 10: Concentración Promedio de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrado en las zonas de estudio.

Concentración de PM10			
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Paucarpata	Uchumayo	Yura
Octubre	111	78	143
Noviembre	92	94	66
Diciembre	103	113	66

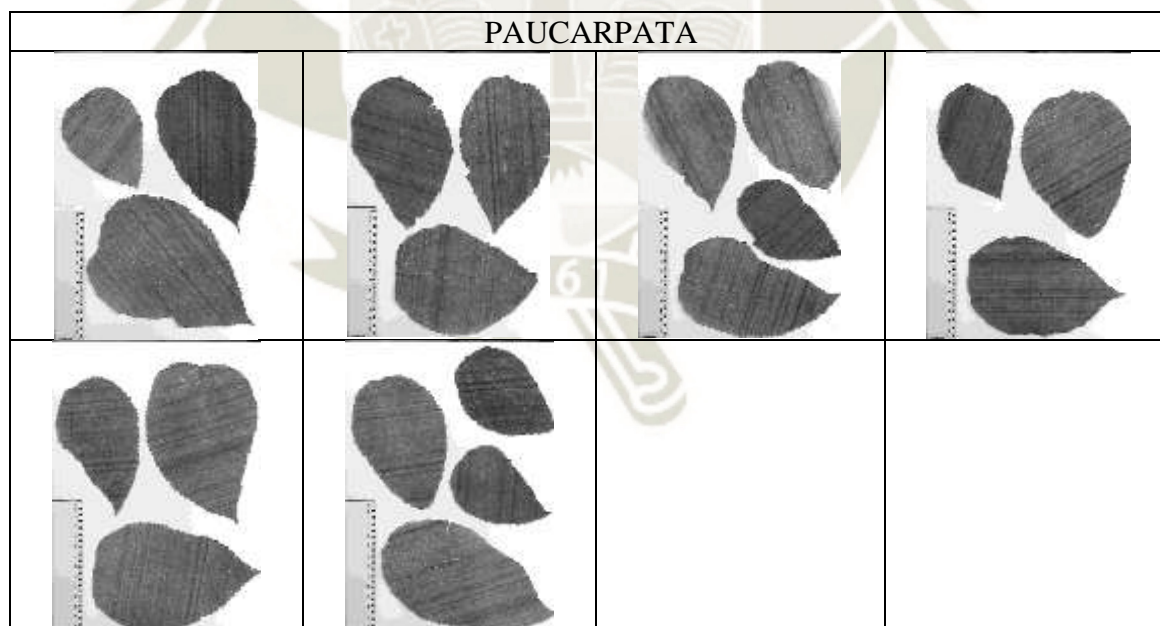
Anexo 11: Cuadro de deducción de área foliar por método Gravimétrico.

Peso de 20 hojas		unidad		Peso 9 cm ² de papel		unidad	área	
Yura	15.74	g		Yura	0.07	g	9	cm ²
Paucarpata	15.55	g		Paucarpata	0.07	g		
Uchumayo	15.08	g		Uchumayo	0.07	g		

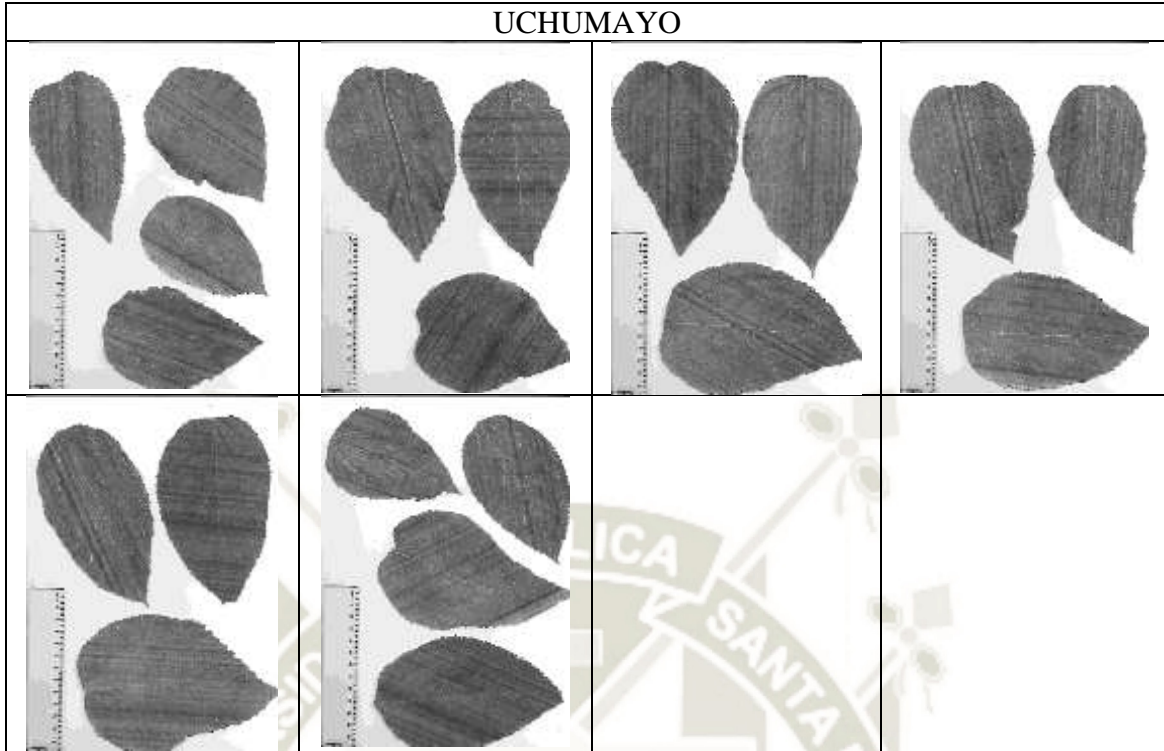
Regla de 3 para hallar cm ² de 20 hojas			Haz y envés		en cm ² c/hoja	en 20 hojas
Yura	2023.71	cm ²	4047.4285	cm ²	101.185714	202.3714
Paucarpata	1999.28	cm ²	3998.5714	cm ²	99.9642857	199.9285
Uchumayo	1938.85	cm ²	3877.7142	cm ²	96.9428571	193.8857
						14

	eq. Al 5%	eq. Al 3%
Yura	4047.42857	6745.71429
Paucarpata	3998.57143	6664.28571
Uchumayo	3877.71429	6462.85714

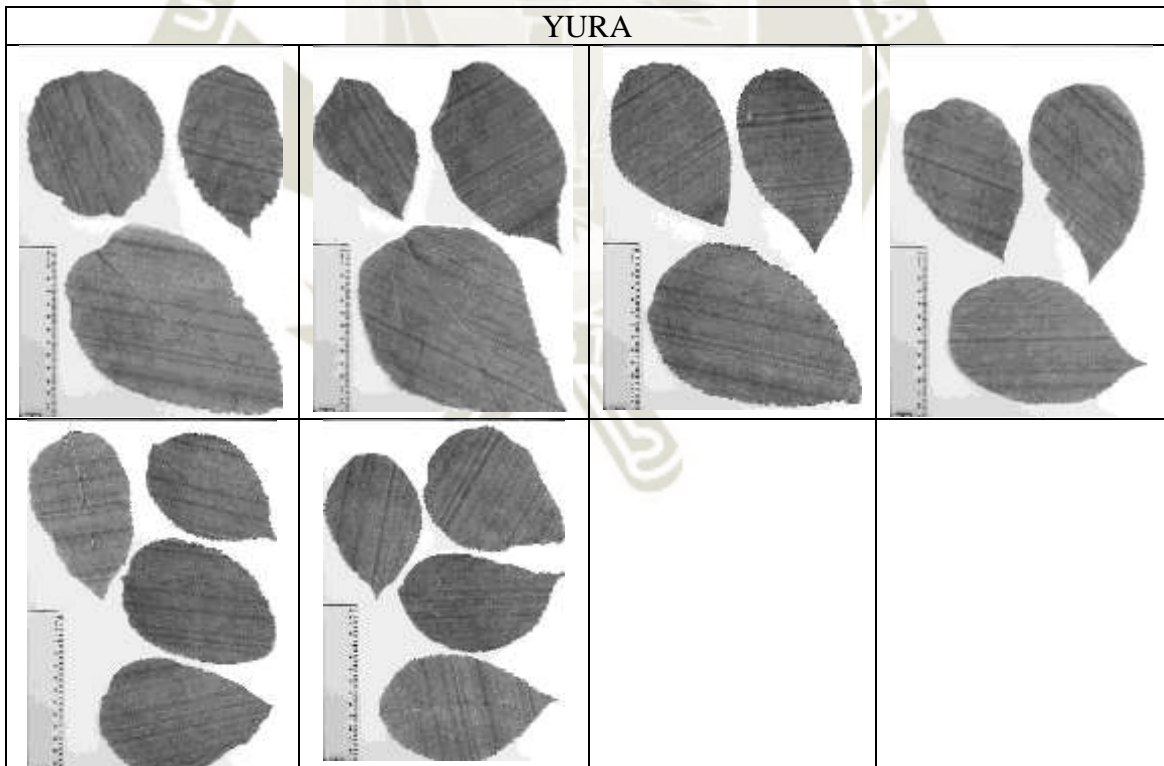
Anexo 12: Imágenes Hojas de *Morus Alba* empleadas para el software IMAGEJ.



UCHUMAYO



YURA



Anexo 13: Cuadro de deducción de área foliar por software IMAGEJ.

Datos de área foliar obtenidos mediante aplicación software IMAGEJ					
Yura		Uchumayo		Paucarpata	
Repeticiones	Área cm ²	Repeticiones	Área cm ²	Repeticiones	Área cm ²
1	96.623	1	79.559	1	60.212
2	77.581	2	84.303	2	109.661
3	174.275	3	61.69	3	155.872
4	59.625	4	77.719	4	109.345
5	106.679	5	117.915	5	105.616
6	175.554	6	93.748	6	118.107
7	93.976	7	95.731	7	82.556
8	89.03	8	114.158	8	93.355
9	158.788	9	114.581	9	58.048
10	83.02	10	130.995	10	107.997
11	93.571	11	109.461	11	110.757
12	108.151	12	81.099	12	65.368
13	82.151	13	110.466	13	121.926
14	71.153	14	108.02	14	73.183
15	99.96	15	97.55	15	129.261
16	98.47	16	130.238	16	127.764
17	70.072	17	59.118	17	90.59
18	83.388	18	72.878	18	61.011
19	93.639	19	102.13	19	49.97
20	96.677	20	105.694	20	127.491
Total	2012.383	Total	1947.053	Total	1958.09
Promedio	100.61915	Promedio	97.35265	Promedio	97.9045

Anexo 14: Resultados obtenidos empleando software IMAGEJ y método Gravimétrico.

Área foliar promedio en cm² de sólo el envés de la hoja		
Zona	Software IMAGEJ	Método Gravimétrico
Paucarpata	97.9045	99.9642857
Uchumayo	97.35265	96.9428571
Yura	100.61915	101.185714

Anexo 15: Deducción de área foliar.

Deducción de área foliar de árboles de Mora en los distritos de Paucarpata, Uchumayo y Yura en base a extrapolación del 3% y 5%					
Yura		Uchumayo		Paucarpata	
Extrapolación		Extrapolación		Extrapolación	
3%	3353.97167	3%	3245.08833	3%	3263.48333
5%	2012.383	5%	1947.053	5%	1958.09

Anexo 16: ANOVA y TUKEY para el estudio estomático del sector de Yura.

Tabla 18: Prueba de ANOVA para el número de estomas en los meses de octubre, noviembre y diciembre del sector de Yura.

ANOVA	SS	GL	SM	F	P	si(p<0.05)="**"
Meses	20,1	2	10,00	0,46	0,629762	
Error	11648,1	537	21,7			

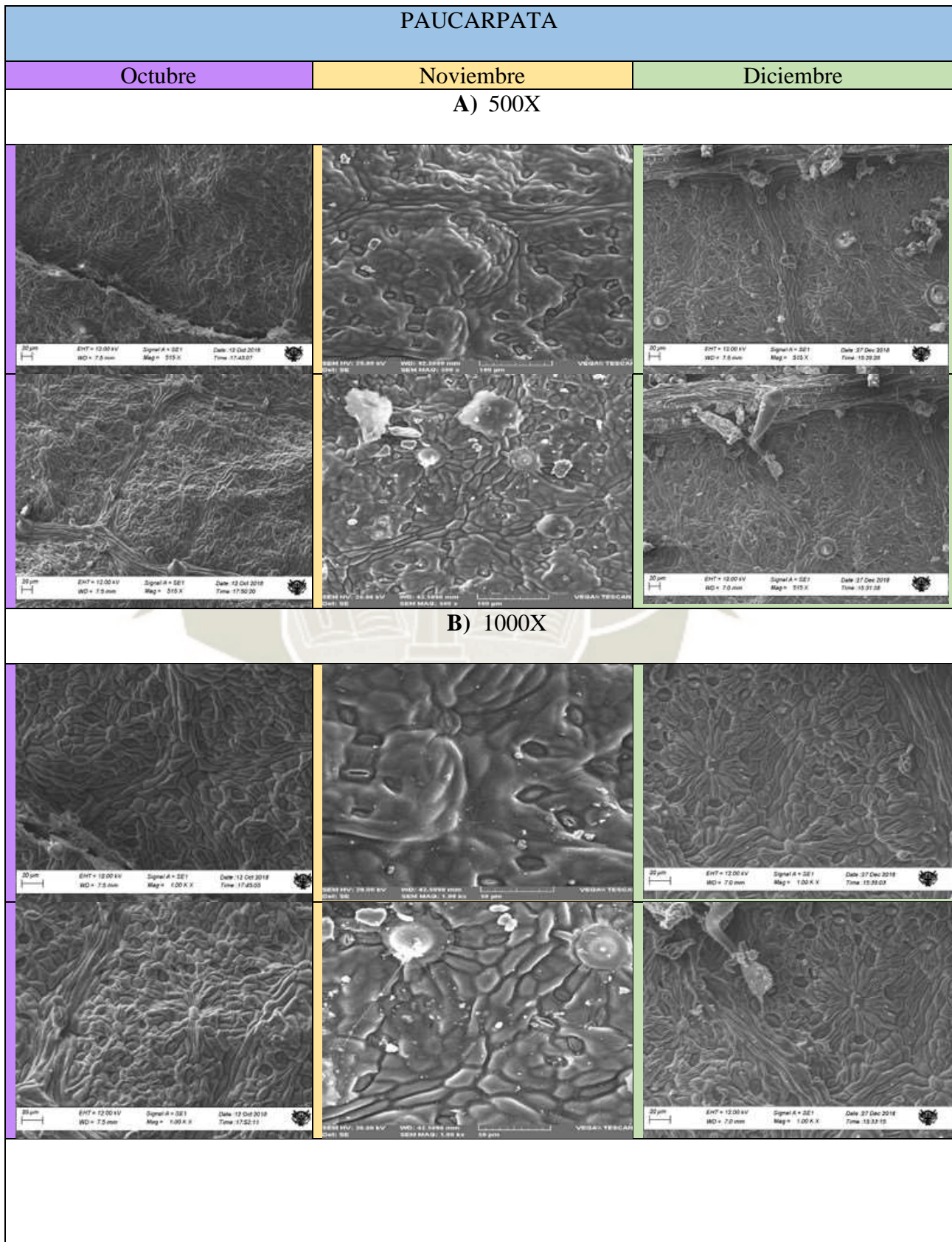
Fuente propia.

Tabla 19: Prueba de TUKEY para el número de número de estomas en los meses de octubre, noviembre y diciembre en el sector de Yura.

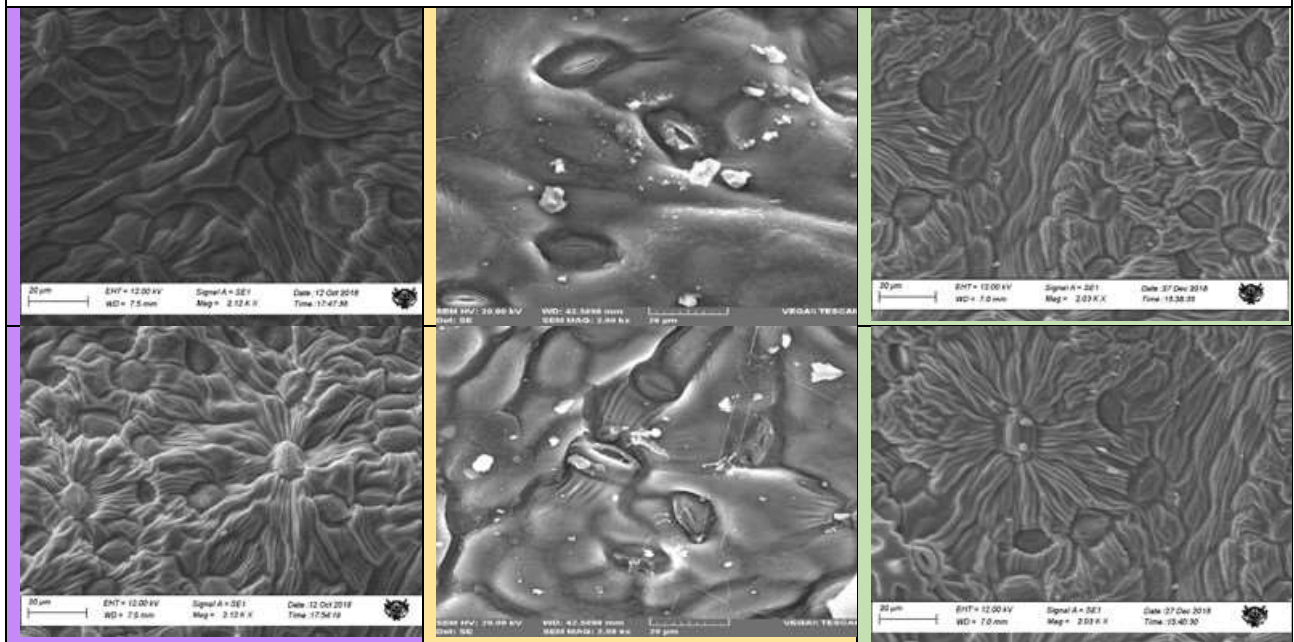
Prueba de TUKEY		
Meses	Promedio	Significancia
Octubre	30.05556 ± 6.9191	a
Diciembre	30.02778 ± 3.4438	a
Noviembre	29.63333 ± 2.3108	a

Fuente propia.

Anexo 17: Micrográficas del distrito de Paucarpata en los meses de octubre, noviembre y diciembre.

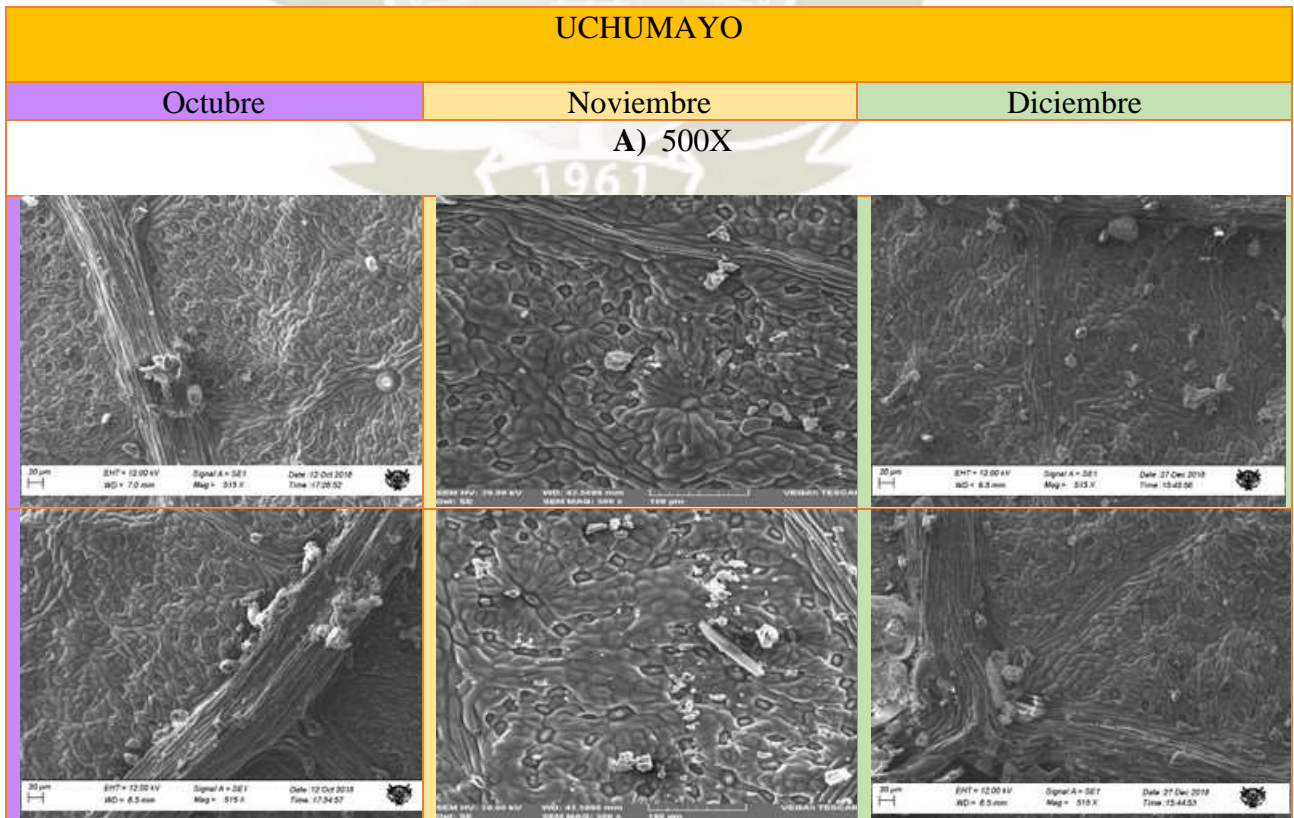


C) 2000X

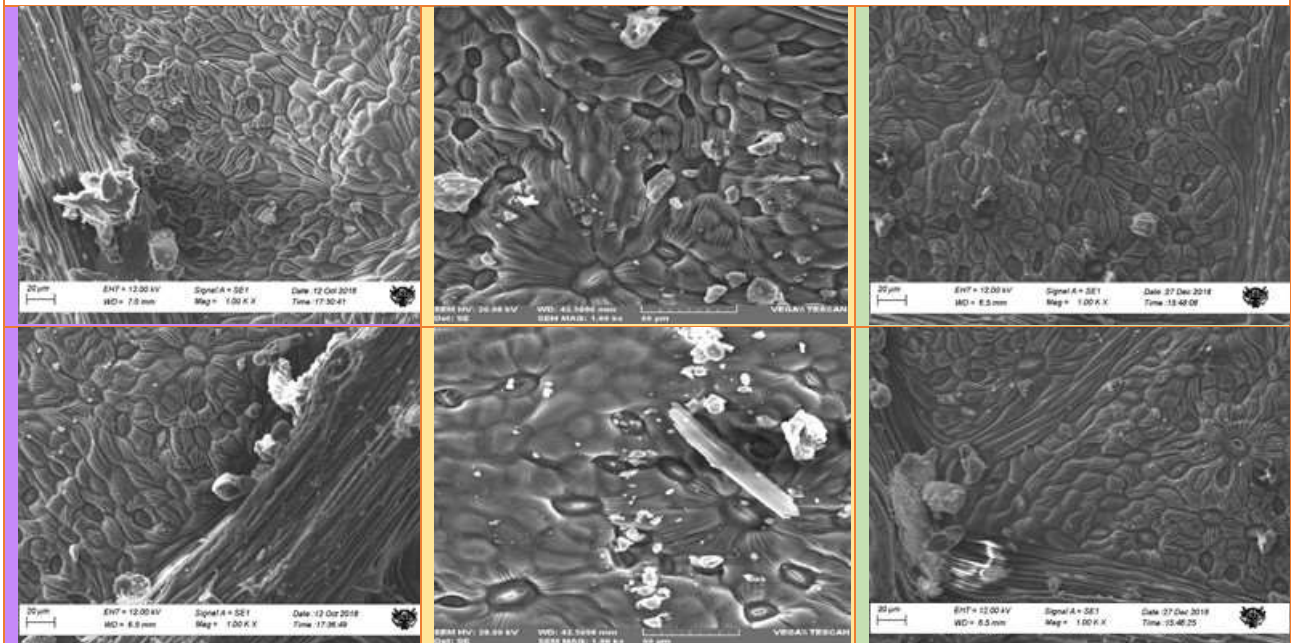


Anexo 18: Micrografías del distrito de Uchumayo en los meses de octubre, noviembre y diciembre.

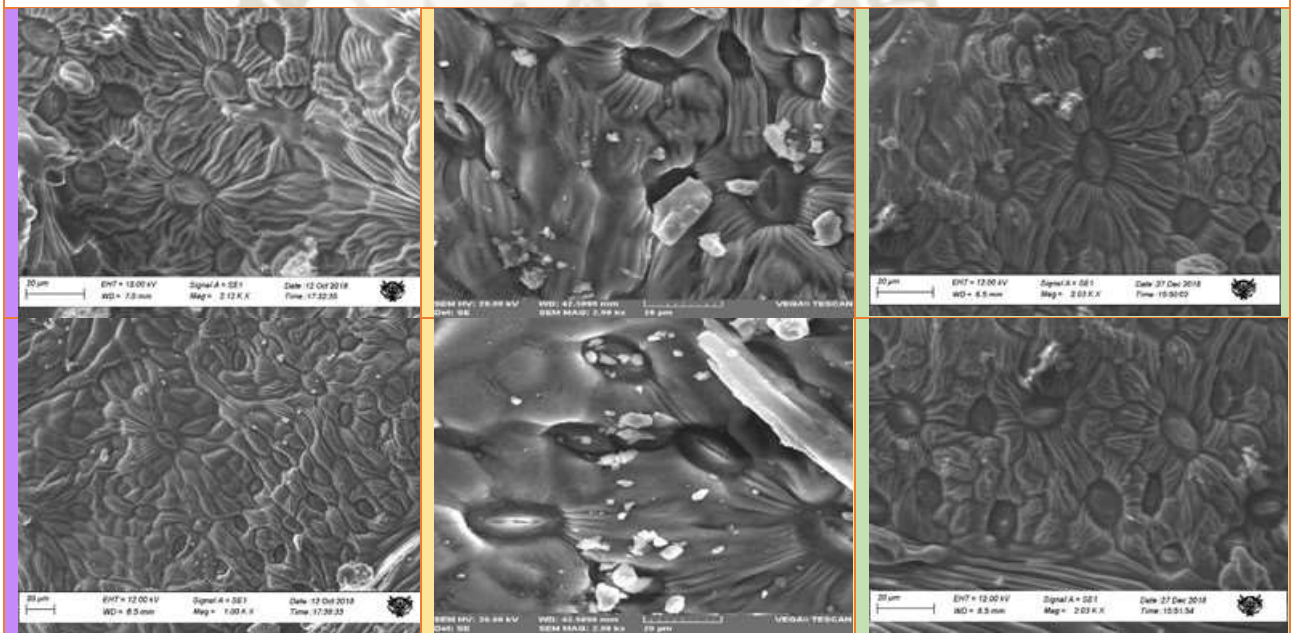
UCHUMAYO



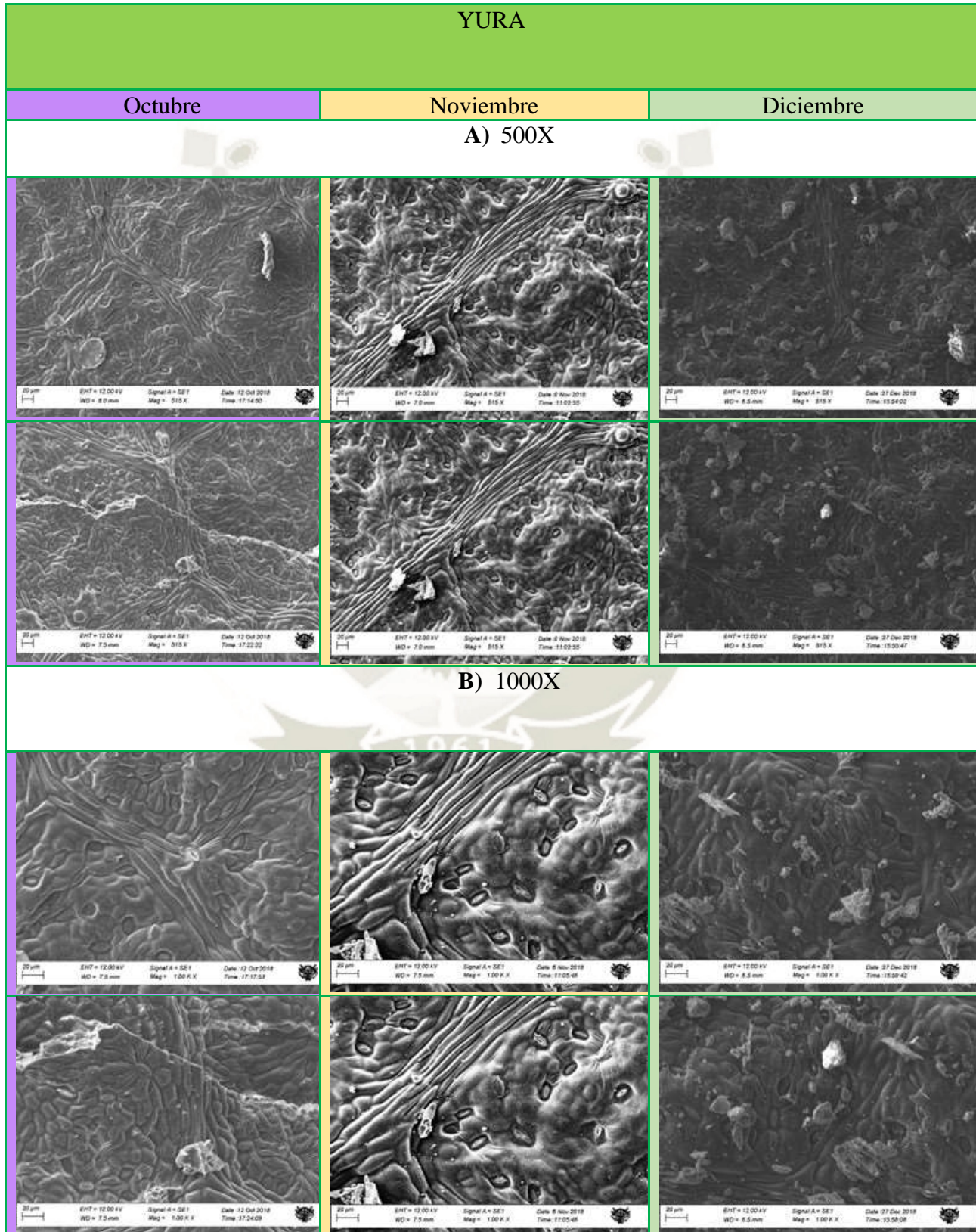
B) 1000X



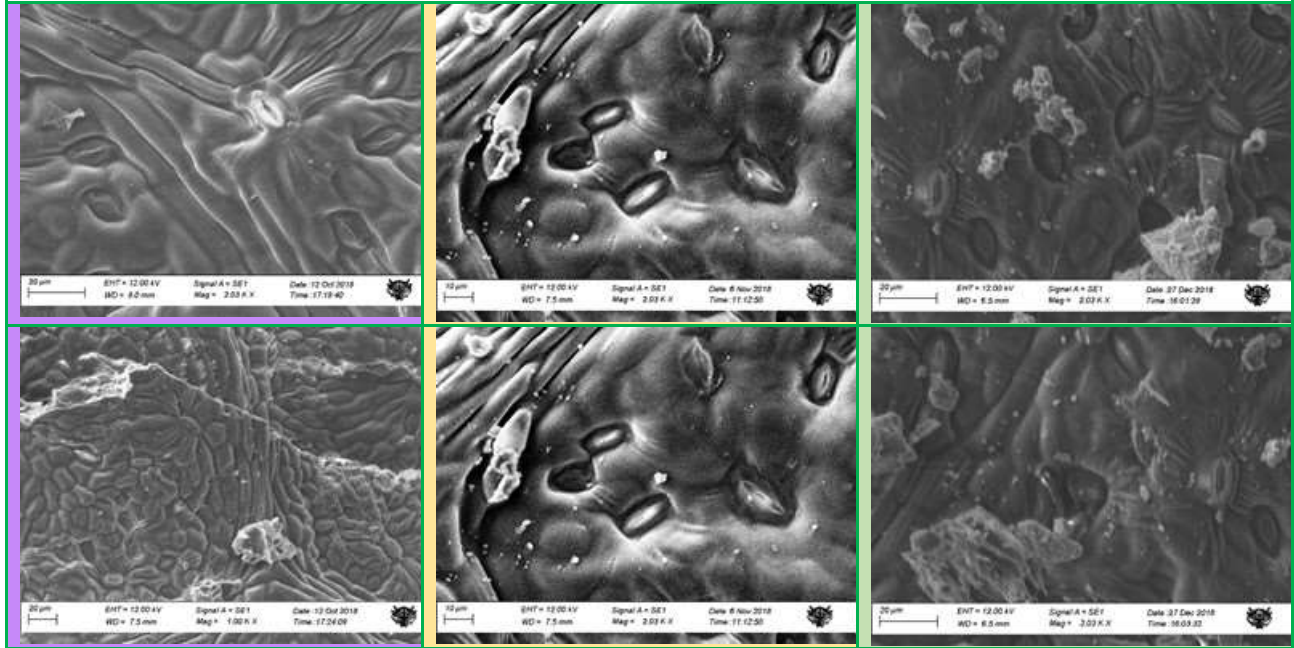
C) 2000X



Anexo 19: Micrográficas del distrito de Yura en los meses de octubre, noviembre y diciembre.



C) 2000X



Anexo 20: Cuadros de comparación de especies arbóreas propuestas por diferentes entidades y bibliografía.

Encontrados por Eusebio Colque			Propuestas por SERFOR			Propuestas en "Mapa de la vegetación en la cuenca del río Chili Arequipa - Perú"		Propuestas en "Ecología Latinoamericana - Actas del III Congreso Latinoamericano de Ecología"			Propuestas en "Perú el problema agrario en debate - SEPIA V"	
Fresno	<i>Fraxinus excelsior</i>	Introducida	Molle	<i>shinus molle</i>	Oriunda	Yaro	<i>Prosopis pallida</i>	Palmera	<i>Washingtonia robusta</i>	Introducida	Algarrobo	Oriunda
Mora	<i>Morus alba</i>	Introducida	Sauce	<i>saliz sp.</i>	Oriunda	Cahuato	<i>Tecoma arequipensis</i>	Palmera	<i>Foenix sp.</i>	Introducida	Tara	Oriunda
Ficus	<i>Ficus elastica</i>	Introducida	Vilco	<i>acacia visco</i>	Oriunda	Lloque	<i>Kageneckia lanceolata</i>	Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Introducida	Molle	Oriunda
Mioporo	<i>Myoporum acuminatum</i>	Introducida	Cahuato	<i>Tecoma fulva subs arequipensis</i>	Oriunda	Chachaco mo	<i>Escallonia resinosa</i>	Mimosa	<i>Acacia saligna</i>	Introducida	Cahuato	Oriunda
Jacaranda	<i>Jacaranda acutifolia</i>	Oriunda	Mioporo	<i>Myoporum laetum</i>	Introducida	Molle	<i>Shinus mole</i>	Jacarandá	<i>Jacaranda sambucifolia</i>	Oriunda	Arrayán	Oriunda
Molle	<i>Schinus molle</i>	Oriunda	Huaranguillo	<i>Tecoma stans</i>	Oriunda	Tara	<i>Caesalpinia spinosa</i>	Palo Verde	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Oriunda	Boliche	Oriunda
Mutuy	<i>Cassia tormentosa</i>	Introducida	Queñua	<i>polylepis sp.</i>	Oriunda	Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	Vilco	<i>Acacia vilco</i>	Oriunda	Mito	Oriunda
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Introducida	Huarango	<i>Acacia macrantha</i>	Oriunda	Huarango	<i>Acacia macracantha</i>	Molle	<i>Schinus molle</i>	Oriunda	Pacae	Oriunda
Pino	<i>Pinus flexilis</i>	Introducida	Yaro	<i>Prosopis pallida</i>	Oriunda			Quillay	<i>Quillaja saponaria</i>	Oriunda	Lloque	Oriunda
Sauce	<i>Salis humboldtiana</i>	Oriunda	Tara	<i>Casesalpinia spinosa</i>	Oriunda			Tara	<i>Caesalpinia espinosa</i>	Oriunda	Colle	Oriunda
Sauco	<i>Sambucus nigra</i>	Introducida						Yaro	<i>Prosopis pallida</i>	Oriunda	Chachaco mo	Oriunda
Olivo	<i>Olea europea</i>	Introducida						Cahuato	<i>Tecoma arequipensis</i>	Oriunda	Queñua	Oriunda
Vilco	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Oriunda						Huarangui llo	<i>Acacia sp.</i>	Oriunda	Parkinsonia	Oriunda
Huarangui llo	<i>Acacia horrida</i>	Introducida									Jacaranda	Oriunda
											Quillay	Oriunda
											Casuarina	Introducida

Anexo 21: Reporte de micrográficas del Laboratorio de ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María.



INFORME DE ENSAYO

Nº DE INFORME: ANA12J18.000017A

Nombre del Cliente	: Mauricio Alexander Suclla López
Dirección del Cliente	: Urb. Juan Pablo Vizcardo y Guzmán E15 Etapa
RUC	: No corresponde
Condición del Muestreado	: POR EL CLIENTE
Descripción	: Mora Paucarpata
Tamaño de muestra	: 5 g
Fecha de Recepción	: 11/10/2018
Fecha de Inicio del Ensayo	: 12/10/2018
Fecha de Emisión de Informe	: 12/10/2018
Página	: 1 de 1

I. PARÁMETROS DE ANÁLISIS:

PARÁMETROS	
Software	SEMZEISS
Voltaje	12 Kv
WD	7.0
Detector	Electrones secundarios

OBSERVACIONES:

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Microscopía Electrónica.


Of. Tiffany Lynne Trujillo Lozano
 Asistente de Laboratorio
 Laboratorio de Microscopía Electrónica



INFORME DE ENSAYO

N° DE INFORME: ANA12J18.000017B

Nombre del Cliente	: Mauricio Alexander Suclla López
Dirección del Cliente	: Urb. Juan Pablo Vizcardo y Guzmán E15 I Etapa
RUC	: No corresponde
Condición del Muestreado	: POR EL CLIENTE
Descripción	: Mora Yura
Tamaño de muestra	: 5 g
Fecha de Recepción	: 11/10/2018
Fecha de Inicio del Ensayo	: 12/10/2018
Fecha de Emisión de Informe	: 12/10/2018
Página	: 1 de 1

I. PARÁMETROS DE ANÁLISIS:

PARÁMETROS	
Software	SEMZEISS
Voltaje	12 Kv
WD	7.0
Detector	Electrones secundarios

OBSERVACIONES:

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Microscopía Electrónica.

Q.F. Tiffany Lynne Trujillo Lozano
 Asistente de Laboratorio
 Laboratorio de Microscopía Electrónica



VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN



Universidad Católica
de Santa María

INFORME DE ENSAYO

N° DE INFORME: ANA12J18.000017C

Nombre del Cliente	: Mauricio Alexander Suclla López
Dirección del Cliente	: Urb. Juan Pablo Vizcardo y Guzmán E15 I Etapa
RUC	: No corresponde
Condición del Muestreado	: POR EL CLIENTE
Descripción	: Mora Uchumayo
Tamaño de muestra	: 5 g
Fecha de Recepción	: 11/10/2018
Fecha de Inicio del Ensayo	: 12/10/2018
Fecha de Emisión de Informe	: 12/10/2018
Página	: 1 de 1

I. PARÁMETROS DE ANÁLISIS:

PARÁMETROS	
Software	SEMZEISS
Voltaje	12 Kv
WD	7.0
Detector	Electrones secundarios

OBSERVACIONES:

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Microscopía Electrónica.

Q.F. Tiffany Lozano Trujillo Lozano
 Asistente de Laboratorio
 Laboratorio de Microscopía Electrónica