

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Escuela de posgrado

**MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN
DEL MATERIAL PARTICULADO DEL AIRE EN DOS
ESPECIES ORNAMENTALES (*Cytisus canariensis*,
Malva sylvestris) EN LA CIUDAD
DE PUNO, 2018**

TESIS

Presentada por:

HERBERT PHOCCO MACHACA

Para optar el Grado de Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*) CON MENCIÓN EN
GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TACNA – PERÚ

2019


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA


Escuela de Posgrado


MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE


**ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL MATERIAL
PARTICULADO DEL AIRE EN DOS ESPECIES ORNAMENTALES (*Cytisus
canariensis, Malva sylvestris*) EN LA CIUDAD DE PUNO, 2018**

Tesis sustentada y aprobada el 22 de Noviembre del 2019; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : 
.....
Dr. Nataniel Mario Linares Gutiérrez

SECRETARIO : 
.....
Dr. Edilberto Pablo Mamani López

MIEMBRO : 
.....
Dr. Eli Joaquín Espinoza Atencia

ASESOR : 
.....
Dr. Eli Joaquín Espinoza Atencia

DEDICATORIA

A mis queridos padres Leopoldo Phocco Chalco y Juana Machaca Turpo, por su inmenso amor, sacrificio y apoyo incondicional durante mi formación profesional de pos grado.

A mis queridos hermanas Leyde y Alicia y a mis hermanos Kennedy, Adán y Bartolomé por su apoyo incondicional en todo momento de mi formación profesional.

A mis maestros del posgrado por inculcarme los diferentes conocimientos que me impartieron y por los ejemplos de seguir adelante con los estudios de posgrado a pesar de los obstáculos, seguir avanzando.

A todos mis amigos y amigas, que de alguna manera me apoyaron durante toda mi formación profesional y durante la ejecución del presente proyecto de investigación.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	iii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	01
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción del problema.....	03
1.1.1. Antecedentes del problema.....	03
1.1.2. Problemática de la investigación	04
1.2. Formulación del problema.....	05
1.3. Justificación e importancia	05
1.4. Alcances y limitaciones	06
1.5. Objetivos.....	07
1.5.1. Objetivo general.....	07
1.5.2. Objetivo específicos	07
1.6. Hipótesis	07
1.6.1. Hipótesis general	07
1.6.2. Hipótesis secundarias	07
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes del estudio.....	09
2.2. Bases teóricas	12
2.2.1. Ecosistema urbano	12
2.2.2. Contaminación del ecosistema urbano	13
2.2.2.1. Material particulado.....	14
2.2.2.2. Polvo atmosférico sedimentable (PAS)	14
2.2.2.3. Fuentes de contaminación	15
2.2.3. Efectos negativos de los contaminantes sedimentables.....	16

2.2.3.1. Efecto en la atmósfera	16
2.2.3.2. Efecto en los seres humanos	16
2.2.3.3. Efecto en las plantas	17
2.2.3.4. Efecto en las construcciones.....	17
2.2.4. Calidad de aire en la ciudad de Puno.....	17
2.2.4.1. Concentración de PM ₁₀	17
2.2.4.2. Concentración de PM _{2.5}	18
2.2.5. Composición química del material particulado en la ciudad de Puno.	19
2.2.5.1. Aluminio - Al.....	21
2.2.5.2. Arsénico - As.....	22
2.2.5.3. Bario - Ba.....	24
2.2.5.4. Cadmio - Cd.....	25
2.2.5.5. Cobalto - Co.....	27
2.2.5.6. Cobre - Cu	28
2.2.5.7. Plomo - Pb	30
2.2.5.8. Manganeso - Mn	32
2.2.5.9. Molibdeno - Mo	34
2.2.5.10. Selenio - Se	34
2.2.5.11. Estroncio - Sr	36
2.2.6. Fuentes de contaminación del aire en ciudad de Puno	37
2.2.6.1. Actividades antropogénicas identificadas en la ciudad Puno.....	38
2.2.7. Normas nacionales	39
2.2.8. Normas internacionales	40
2.2.9. Condiciones relacionadas con la contaminación por partículas.....	41
2.2.9.1. Viento.....	41
2.2.9.2. Temperatura y altitud	42
2.2.9.3. La precipitación	42
2.2.10. Retención de partículas sedimentables.....	43
2.2.10.1. Características de la hoja relacionadas a la retención de partículas .	43
2.2.11. Pantallas, cortinas vegetales y sedimentación	44
2.2.12. Áreas verdes urbanas	44
2.2.12.1. Clasificación de áreas verdes urbanas.....	45

2.2.13. Funciones que cumplen las áreas verdes	46
2.2.14. Gestión urbanística	47
2.2.15. Características generales de Cytisus	48
2.2.16. Características generales de malva	50
2.2.17. Microwave Reaction System	53
2.2.18. Espectroscopia de plasma ICP-OES.....	55
2.2.19. Estufa.....	59
2.2.20. Balanza analítica.....	60
2.3. Definición de términos.....	60
2.3.1. Definición de material particulado	60
2.3.2. Composición de material particulado en la ciudad de Puno	61
2.3.3. Radiación solar	61
2.3.4. Actividad antrópica.....	61
2.3.5. Dirección del viento.....	61
2.3.6. Velocidad de viento.....	61
2.3.7. Áreas verdes urbanas	62
2.3.8. Adsorción	62
2.3.9. Absorción	62
2.3.10. La caducidad de las hojas	62
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	
3.1. Tipo y diseño de la investigación	64
3.2. Población y muestra.....	64
3.2.1. Determinación de la composición del material particulado adsorbido.....	65
3.2.1.1. Toma de muestras en campo.....	65
3.2.1.2. Etapa del laboratorio	66
3.2.1.3. Determinación de área foliar	66
3.2.1.4. Tiempo de permanencia de las hojas.....	66
3.2.1.5. Número total de hojas por arbusto	67
3.3. Operacionalización de variables	67
3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	69
3.4.1. Materiales y/o instrumentos	69

CAPÍTULO IV: MARCO FILOSÓFICO	
Marco Filosófico.....	71
CAPÍTULO V: RESULTADOS	
5.1. Análisis estadístico	72
5.2. Análisis por objetivos	79
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	
Discusión	94
CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Caracterización de las muestras captados en la ciudad de Puno	20
Tabla 2.	Límites máximos permisibles	40
Tabla 3.	Estándares de contaminante sedimentable por países.	41
Tabla 4.	Ubicación de puntos de muestreo	65
Tabla 5.	Análisis de varianza de adsorción de material particulado	72
Tabla 6.	Prueba de Tukey de variable dependiente material particulado	75
Tabla 7.	Correlaciones significativas de Pearson	77
Tabla 8.	Adsorción de material particulado en especie <i>Cytisus canariensis</i>	79
Tabla 9.	Adsorción de material particulado en especie y <i>Malva sylvestris</i> .	81
Tabla 10.	Composición de material particulado adsorbido por cada especie ..	83
Tabla 11.	Áreas foliares de <i>Cytisus canariensis</i>	85
Tabla 12.	Áreas foliares de <i>Malva sylvestris</i>	87
Tabla 13.	Tiempo de permanencia de las hojas de <i>Malva sylvestris</i>	88
Tabla 14.	Tiempo de permanencia de las hojas <i>Cytisus canariensis</i>	89
Tabla 15.	Cantidad de hojas por especie <i>Malva sylvestris</i>	90
Tabla 16.	Cantidad de hojas por especie <i>Cytisus canariensis</i>	91

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución de partículas según diámetro aerodinámico	15
Figura 2.	Concentraciones de material particulado de PM ₁₀ en la ciudad de Puno	18
Figura 3.	Concentraciones de material particulado de PM _{2,5}	19
Figura 4.	Tráfico vehicular.....	38
Figura 5.	Actividades antropogénicas reconocidos en cada punto de evaluación.....	39
Figura 6.	Cytisus canariensis	49
Figura 7.	Malva sylvestris	51
Figura 8.	Microwave Reaction System	53
Figura 9.	Microwave Reaction System	54
Figura 10.	Componentes del espectrómetro de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP OES)	56
Figura 11.	Sistema de introducción de muestras.....	58
Figura 12.	Efectos de la desolvatación y atomización del analito durante la emisión óptica	59
Figura 13.	Histograma de adsorción de material particulado.....	73
Figura 14.	Q-Q normal de adsorción de material particulado	74
Figura 15.	Grado relación lineal entre dos variables cuantitativas	78
Figura 16.	Adsorción de sólidos suspendidos disueltos, sulfatos y sólidos suspendidos totales en Cytisus canariensis (mg/L)	80
Figura 17.	Adsorción de sólidos suspendidos disueltos, sulfatos y sólidos suspendidos totales en Malva sylvestris (mg/L)	82
Figura 18.	Composición de material particulado (µg/m ³)	84
Figura 19.	Rosa de vientos de la ciudad de Puno.	92
Figura 20.	Distribución de frecuencia de clase de viento en Puno	93

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue desarrollado en la ciudad de Puno, con el objeto de conocer la capacidad de adsorción de material particulado del aire en dos especies ornamentales (***Cytisus canariensis***, ***Malva sylvestris***) en la ciudad de Puno, 2018. El tipo de investigación es descriptivo, exploratorio y se realizó muestreo por 30 días del mes de noviembre, en las hojas de especies ornamentales de ***Cytisus canariensis*** y ***Malva sylvestris***. Los ensayos se realizaron en Megalaboratorio Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano. La mayor capacidad de adsorción de material particulado efectúa el especie ***Malva sylvestris*** a comparación de ***Cytisus canariensis***, se corrobora la diferencia de adsorción estadísticamente obteniendo el coeficiente de variabilidad 23,30 %, donde indica la variabilidad de adsorción de material particulado de ambas especies. El área foliar de hojas de ***Malva sylvestris*** es 34,72 cm² y del especie ***Cytisus canariensis*** es 2,35 cm² y el promedio general de tiempo de permanencia de hojas en ***Malva sylvestris*** es de 133 días, de ***Cytisus canariensis*** es de 92 días y promedio general de cantidad de hojas en ***Malva sylvestris*** es de 1107 hojas y por último en especie ***Cytisus canariensis*** se obtuvo como promedio general un total 3448 hojas.

Palabras clave: Capacidad de adsorción, material particulado, ciudad de Puno, ***Malva sylvestris***, ***Cytisus canariensis***

ABSTRACT

The present research work was carried out in the city of Puno, in order to know the adsorption capacity of air particulate material in two ornamental species (***Cytisus canariensis***, ***Malva sylvestris***) in the city of Puno, 2018. The type of research is descriptive, exploratory and was sampled for 30 days in November, in the leaves of ornamental species of ***Cytisus canariensis*** and ***Malva sylvestris***. The tests were conducted in the Environmental Mega laboratory of the National University of the Altiplano. The greater adsorption capacity of particulate material makes the species ***Malva sylvestris*** compared to ***Cytisus canariensis***, the difference in adsorption is corroborated statistically obtaining the coefficient of variability 23,30 %, where it indicates the adsorption variability of particulate material of both species. The leaf area of leaves of ***Malva sylvestris*** is 34,72 cm² and the species ***Cytisus canariensis*** is 2,35 cm² and the general average time of residence of leaves in ***Malva sylvestris*** is 133 days, of ***Cytisus canariensis*** is 92 days and general average amount of leaves in ***Malva sylvestris*** is 1107 leaves and finally in species ***Cytisus canariensis*** a total of 3448 leaves was obtained as a general average.

Keywords: Adsorption capacity, particulate material, City of Puno, ***Malva sylvestris***, ***Cytisus canariensis***

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica constituye un problema ambiental, por cuanto la acción antrópica genera un efecto sobre un componente ambiental (aire), en la actualidad, el resultado del desarrollo, el progreso tecnológico, como también la presencia de polvos, humos y gases provenientes de la actividad del ser humano, ha originado diversas formas de contaminación, las cuales alteran el equilibrio físico y salud del ser humano, donde el aire limpio es un elemento esencial para la vida que es afectado en forma creciente por el incremento de la contaminación atmosférica causada por las actividades antropogénicas especialmente en las zonas urbanas. La contaminación del aire en las ciudades causa muchas enfermedades dérmicas, pulmonares y alérgicas llegando a ser una de las principales preocupaciones para la salud pública. El material particulado es un agente contaminante, según CONAM (2006), elevó en los últimos años sus niveles de concentración llegando a superar los límites máximos impuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). El monitoreo de estos contaminantes del aire es costoso debido a la utilización de equipos especiales, sin embargo, existen parámetros relacionados como el polvo atmosférico sedimentable (PAS), el cual está constituido por partículas sólidas con un diámetro equivalente mayor o igual a 10 micras, tamaño y peso que está dentro de la influencia de la fuerza de gravedad, por lo que sedimentan y se depositan en forma de polvo en las diferentes superficies.

En consecuencia de los problemas ambientales de zonas urbanas y la vital importancia que cumplen los especies ornamentales y árboles en áreas verdes urbanas es el de captar este PAS mediante sus hojas y con esto reducir su concentración en el medio ambiente, mejorando la calidad del mismo. Sin embargo, esto no ha sido tomado en cuenta frente al crecimiento poblacional urbano ya que carece de un ordenamiento territorial adecuado en el cual se incluyan áreas verdes en relación a la cantidad de habitantes por superficie. Según Quispe, R. 2015 las áreas verdes instaladas se tienen 233 600 m², con

un déficit de 6314 m²/habitante comparadas con la INADUR y si se comparamos con la OMS tendríamos un déficit de 7314 m²/habitante, lo cual nos lleva una gran preocupación por el alto déficit de áreas verdes que presenta nuestra ciudad de Puno.

En este contexto, las áreas verdes urbanas representan un elemento importante para mejorar la calidad del aire con respecto al material particulado, por la capacidad natural que tienen de adsorber el mismo. Según SISA (2002), los árboles son las unidades ecológicas que permiten mantener un equilibrio entre el desarrollo de una ciudad y las condiciones del medio ambiente. Es por ello que resulta de relevancia cuantificar el beneficio ambiental en relación a la adsorción de PAS.

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo: Identificar la cantidad de adsorción de material particulado, en las áreas foliares de especies ***Cytisus canariensis*** y ***Malva sylvestris***, determinar la composición de material particulado adsorbido por cada especie arbórea y calcular el área foliar, tiempo de permanencia de las hojas y número total de hojas por especie ornamental.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

1.1.1. Antecedentes del problema

En Perú, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) emite mensualmente boletines de medio ambiente en los cuales realiza la evaluación de la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de Lima – Callao como parte de su programa denominado “Vigilancia de la Contaminación Ambiental en la Zona Metropolitana”. Esta evaluación involucra una serie de procedimientos asociados a la recolección o muestreo de contaminantes del aire. Algunas de las metodologías de tipo genérico utilizadas para este muestreo son el muestreo pasivo (método de jarras, placas, tubos pasivos), activo (método gravimétrico de altos y bajo volúmenes) y automático (analizadores basados en principios de quimioluminiscencia, fotometría, espectrofotometría, fluorescencia). Como parte de esta evaluación se realiza el monitoreo pasivo del polvo atmosférico sedimentable (PAS) o contaminantes sólidos sedimentables (CSS) mediante la metodología de placas receptoras.

Un antecedente importante de mencionar debido a la relación que se hace entre áreas verdes urbanas y contaminación atmosférica es la que describe Faggi (2005), quien refiere que en Buenos Aires Argentina, la Universidad de Flores presentó el proyecto “Bioindicadores Ambientales de Contaminación a lo Largo de un Gradiente de Urbanización en Buenos Aires”, el cual consistía en el biomonitoreo de contaminantes del aire en hojas de árboles durante periodos estacionales: Inicio de primavera, en verano y fines de otoño en un tiempo de dos años. Este proyecto consistía en reconocer contaminantes del aire a lo largo de un gradiente de urbanización, utilizando cortezas y hojas de plantas, analizando los elementos depositados sobre la capa superficial del ritidoma de

árboles e incorporados al tejido. Este proyecto lleva implícito la función que cumplen los árboles al atrapar partículas contaminantes ambientales.

Otra investigación importante de mencionar es la llevada a cabo en el país de Chile por la facultad de ciencias forestales, que lleva por título “Desarrollo de un sistema de gestión de la vegetación urbana con fines de descontaminación atmosférica y de apoyo a la toma de decisiones a nivel municipal”. Esta investigación consistió de determinar la forma en que la vegetación urbana puede ayudar a reducir los niveles de contaminación del aire en relación al material particulado. Una conclusión como parte de esta investigación fue que la arborización generó un impacto positivo sobre la concentración de partículas, atrapando alrededor de 3 % - 6 % de partículas menores de 10 micras (PM₁₀) en primavera e invierno respectivamente. A partir de estos resultados se generó la idea de que, para potenciar esta capacidad que tiene la naturaleza de mejorar la calidad del aire, es necesario elegir las especies adecuadas con las cuales aumentar la forestación. Esta investigación hace mucho énfasis en el beneficio ambiental que traen las áreas verdes urbanas.

1.1.2. Problemática de la investigación

En la ciudad de Puno las áreas verdes actualmente instaladas tienen un área de 233,600 m², con un déficit de 6,314 m²/habitante comparadas con la INADUR y si se los compara con la OMS se tendría un déficit de 7,314 m²/habitante, lo cual lleva una gran preocupación por el alto déficit de áreas verdes. La concentración de material particulado de 10 y de 2,5 micras en la ciudad de Puno sobrepasan en algunas zonas a estándares de calidad del aire y tienen efectos negativos en las personas causando diversas enfermedades; donde son provenientes de las actividades del parque automotor, aumento de la actividad industrial, incremento de talleres metálicos, construcciones civiles y entre otras actividades antropogénicas, que son responsables de la emisión de material particulado y de polvo atmosférico sedimentable generando diferentes impactos hacia la población, urbana. Entonces, las áreas verdes de la ciudad de Puno están instaladas a través de plantas arbóreas de *Cytisus* y *Malva*, sin haber

realizado el estudio de capacidad de adsorción de contaminantes de material particulado y de polvo atmosférico sedimentable del aire.

1.2. Formulación del problema

Frente a este problema que se puso en manifiesto la preocupación de estimar de capacidad de adsorción de material particulado del aire en dos especies ornamentales que se encuentran con mayor extensión en las áreas verdes de la ciudad de Puno, por ello el presente trabajo de investigación resolverá las siguientes preguntas:

Pregunta general

¿Cuál es la capacidad de adsorción de material particulado del aire en dos especies ornamentales (*Cytisus canariensis*, *Malva sylvestris*) en la ciudad de Puno?

Preguntas específicas

- a) ¿Cuál es la adsorción de material particulado a través del área foliar de las especies *Cytisus canariensis*, *Malva sylvestris*?
- b) ¿Cuál es la composición de material particulado adsorbido por cada especie ornamental?
- c) ¿Cuál es el área foliar, tiempo de permanencia de las hojas y número total de hojas por especie ornamental?

1.3. Justificación e importancia

De acuerdo a los estudios que se han realizado en monitoreo de concentración de material particulado de 10 microgramos y de 2,5 microgramos del aire en la ciudad de Puno, consideran actualmente con más problemas de contaminación del aire y esto debido a que no está implementado el plan de gestión ambiental de áreas verdes con fines de mitigación ambiental de material particulado y de polvo atmosférico sedimentable del aire, entonces la población, en general, está expuesta

día a día, a altas concentraciones de diversos contaminantes.

La importancia del presente trabajo de tesis hace referencia a la descripción de la capacidad de adsorción de material particulado del aire en dos especies ornamentales de forma natural que se encuentran significativamente en la ciudad de Puno y se indicarán las especies con mayor capacidad de adsorción de material particulado de PM₁₀, PM_{2,5} polvo atmosférico sedimentable de las especies ornamentales actualmente instaladas con mayor extensión en áreas verdes, a partir de la eficiencia de adsorción de especies arbóreas de material particulado se garantizará a la población de la ciudad de Puno de un aire limpio, porque es un derecho humano básico de la población de gozar de un ambiente limpio y sano.

1.4. Alcances y limitaciones

1.4.1. Alcances

El presente estudio indica la eficiencia de adsorción de material particulado en los dos especies ornamentales actualmente instaladas en las áreas verdes de la ciudad de Puno y de la misma forma la presente investigación es un instrumento de plan de gestión ambiental del aire para la ciudad de Puno.

1.4.2. Limitaciones

La presencia de los factores limitantes de la presente investigación son varios, entre ellos están las mismas condiciones meteorológicas de la ciudad de Puno, que pudiesen afectar a ciertas muestras de forma distinta que a otros, las precipitaciones pluviales que originan el lavado en hojas, humedad relativa, la misma velocidad del viento que arrastra partículas y de la misma manera las retira, dirección de viento, entre otros parámetros meteorológicos.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

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

1.5.2. Objetivos secundarios

- a) Identificar la cantidad de adsorción de material particulado, en las áreas foliares de especies *Cytisus canariensis* y *Malva sylvestris*.
- b) Determinar la composición de material particulado adsorbido por cada especie arbórea.
- c) Calcular el área foliar, tiempo de permanencia de las hojas y número total de hojas por especie ornamental.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

En la cantidad de adsorción de material particulado del aire, en los dos especies ornamentales (*Cytisus canariensis*, *Malva sylvestris*) en la ciudad de Puno, son iguales en adsorción.

1.6.2. Hipótesis secundarias

- a) La cantidad de adsorción de material particulado, en las áreas foliares en las dos especies ornamentales son sólidos suspendidos disueltos, sulfatos y sólidos suspendidos totales, lo que indica la negatividad para el aire de la ciudad de Puno.
- b) La composición de material particulado adsorbido por cada especie arbórea, son: Al, As, Ba, Cd, Co, Cu, Pb, Mn, Mo, K, Se, Sr, Zn, son elementos más relevantes que contribuyen en la contaminación del aire de la ciudad de Puno.

c) Los factores determinantes en adsorción es el área foliar, tiempo de permanencia de las hojas y número total de hojas, los que determinan la eficiencia de adsorción de material particulado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Alegre et al. (2007), determina que la capacidad de adsorción de material particulado en el aire de tres especies arbóreas en dos avenidas principales en el distrito de Cercado de Lima, determinó la cantidad de material particulado en suspensión que pueden adsorber tres especies arbóreas a través de sus hojas; así como la composición del mismo por diversos análisis de laboratorio. Los individuos evaluados se ubican en las bermas laterales y centrales de las avenidas Abancay y Arequipa, las cuales fueron escogidas por el nivel de congestión, tránsito y polución que presentan. Adicionalmente, se obtuvieron las cantidades adsorbidas tanto de plomo como de sulfatos por árbol - especie, debido a que son contaminantes importantes que se encuentran en el combustible usado por el parque automotor (principal causante del deterioro de la calidad del aire en Lima). Finalmente, se calculó el volumen de aire que puede limpiar cada árbol por especie y elemento analizado, a fin de conocer su contribución en la limpieza del aire, respecto a cada uno de ellos.

Faggi et al. (2005), refiere que, en Argentina, la Universidad de Flores presentó el proyecto "Bioindicadores Ambientales de Contaminación a lo largo de un gradiente de urbanización en Buenos Aires", el cual consistía en el biomonitoreo de contaminantes del aire en hojas de árboles durante periodos estacionales: Inicio de primavera, en verano y fines de otoño en un tiempo de dos años. Este proyecto consistía en reconocer contaminantes del aire a lo largo de un gradiente de urbanización, utilizando cortezas y hojas de plantas, analizando los elementos depositados sobre la capa superficial del litodoma de árboles e incorporados al tejido. Este proyecto lleva implícito la función que cumplen los árboles al atrapar partículas contaminantes ambientales.

Universidad de Chile (2004), en el estudio de desarrollo de un sistema de gestión de la vegetación urbana con fines de descontaminación atmosférica y de apoyo a la toma de decisiones a nivel municipal concluye que la vegetación capta anualmente 2,266 toneladas métricas de material particulado, 115 toneladas métricas de monóxido de carbono, 851 toneladas métricas de ozono urbano, 321 toneladas métricas de dióxido de nitrógeno y 211 toneladas métricas de dióxido de azufre. También secuestra localmente 37,713 toneladas métricas al año de dióxido de carbono, el principal gas invernadero, culpable del calentamiento global. El impacto más importante de la arborización se observó en partículas. Atrapa cerca del 6 % del total de partículas menores que 10 micras (PM₁₀) en primavera y alrededor del 3 % en invierno. Pero la idea es potenciar aún más esta capacidad que tiene la naturaleza para aspirar el sucio aire capitalino. Elegir las especies adecuadas con las cuales aumentar la forestación es un aspecto clave. Hay árboles, por ejemplo, que contaminan, emiten compuestos orgánicos volátiles, como terpenos, que llevan a formar más ozono en la atmósfera baja de las urbes. Para ello, el equipo diseña modelos que permitirán optimizar este rol de la naturaleza, con costos y beneficios en el tiempo.

Calderón, C. (2009). En el estudio de contribución del arbolado urbano y periurbano del municipio de Madrid en la mejora de la calidad del aire y sumidero de contaminantes atmosféricos como beneficio para la sociedad, concluye que la contaminación urbana está originada principalmente por la actividad humana, llegando a ser un serio problema para la salud. Los niveles de contaminación por óxidos de nitrógeno y partículas en suspensión se encuentran en el límite o son superados año tras año según la legislación vigente, debido las emisiones del tráfico de Madrid que contribuyen en un 87,35 % y 84,13 % respectivamente.

Calderón, C. (2009). Frente a este problema, los 2,980,604 ft/arb bajo gestión pública del municipio de Madrid estimados en este estudio de las calles y parques urbanos, además de la casa de campo y el Monte Pardo, actúan de filtro verde y evitan que se superen los niveles actuales. El objetivo del presente estudio consistió en estimar la contribución de algunas de las principales

especies caducifolias (*Platanus sp.*, *Ulmus sp.*, *Aesculus hippocastanum*) y perennifolias (*Quercus ilex*, *Pinus pinea* y *Cedrus sp.*), que contabilizan el 79 % de los árboles de Madrid, en la reducción de estos niveles de contaminación. Los árboles fueron muestreados desde el verano de 2005 a la primavera de 2007 alrededor de las estaciones de medición de contaminación atmosférica.

Tras el proceso analítico se presentan resultados del inventario arbóreo y los valores por especie de la absorción de CO₂ anual (de 150 a 325 kg/árbol/año), número de árboles que compensan la emisión anual por vehículo medio (de 8 a 16 pies/vehículo), cantidades anuales captadas de cada metal pesado relacionado con el tráfico, regresiones entre la intensidad media diaria de vehículos y deposición, y finalmente los valores totales para todo el arbolado (16,8 kg de Ba, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) y un mapa de distribución mediante GIS de Madrid con los niveles de contaminantes que cada árbol individual retiene. Como conclusión de cara al gestor se recomiendan las especies más eficientes y adecuadas según criterios silvícolas y fitopatológicos, resultando la mezcla de *Cedrus sp.*, *Ulmus sp.* y *Pinea* la más interesante (Calderón, 2009).

Moreno y Martínez (2004). *Morus alba* (moraceae) como indicador de contaminación ambiental en el área urbana de San Juan (Argentina), evaluó la contaminación ambiental en el área urbana de San Juan a través de los contenidos de sólidos en suspensión depositados en las hojas de *Morus alba* para ello, se muestrearon al azar 40 árboles de la especie seleccionada, 20 en el microcentro y 20 en áreas sub urbanas; considerando tres períodos: primavera (en hojas con tamaño definitivo), verano y otoño.

En el estudio se determinó la biomasa foliar y la superficie foliar de cada planta del ensayo; se estableció el árbol tipo y se analizó el material sólido depositado y los contenidos, del cual se obtuvo que el 34,8 % del sólido en suspensión se depositó en primavera, el 30,6 % en verano y el 34,6 % en otoño de ellos, en el área urbana, el 23 %, el 57 % y el 53 % lo hicieron en primavera,

verano y otoño. La fe depositada en el área suburbana fue: en primavera el 41 %, en verano el 38 % y en otoño el 55,6 % (Moreno y Martínez, 2004).

Otra investigación importante de mencionar es la llevada a cabo en el país de Chile por la facultad de ciencias forestales, que lleva por título “desarrollo de un sistema de gestión de la vegetación urbana con fines de descontaminación atmosférica y de apoyo a la toma de decisiones a nivel municipal”. Esta investigación consistió de determinar la forma en que, la vegetación urbana puede ayudar a reducir los niveles de contaminación del aire en relación al material particulado. Una conclusión como parte de esta investigación fue que la arborización generó un impacto positivo sobre la concentración de partículas, atrapando alrededor de 6 % y 3 % de partículas menores de 10 micras (PM₁₀) en primavera e invierno respectivamente. A partir de estos resultados se generó la idea de que, para potenciar esta capacidad que tiene la naturaleza de mejorar la calidad del aire, es necesario elegir las especies adecuadas para realizar las forestaciones de área urbana, entonces la investigación hace mucho énfasis en el beneficio ambiental que traen las áreas verdes urbanas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Ecosistema urbano

El término de ecosistema ha sido relacionado generalmente con la naturaleza, debido a las implicaciones medioambientales que tienen las ciudades y el auge de concepto de desarrollo sostenible del planeta. Esta definición es respaldada por la ONU, la cual define al ecosistema urbano como una comunidad biológica donde los humanos representan la especie dominante y el medioambiente edificado constituye la estructura física de este ecosistema. Este ecosistema urbano cubre actualmente cerca de un 4 % de la superficie de la tierra lo que supone cuatro veces más que los ecosistemas de agua dulce. En ellos viven casi 2,700 millones de personas convirtiéndose en los espacios más importantes del planeta en materia de bienestar, productividad e impacto ecológico ambiental (Carranza, 2013).

Además, Carter (1996), señala que las áreas verdes urbanas, conformadas por los diversos estratos de plantas ornamentales y en especial los árboles, nos proporcionan diversos beneficios ambientales como el regular el anhídrido carbónico atmosférico (CO₂) como resultado de la fotosíntesis, modificar el ambiente urbano disminuyendo el calor provocado por el efecto de la radiación sobre las edificaciones, rehidratar la atmósfera debido a la transpiración de las plantas, regular la temperatura del medio ambiente reduciéndola hasta en – 6 °C debido al efecto sombra y al calor atrapado para realizar la transpiración, interceptar la radiación solar en referencia a los árboles, reducir la velocidad del viento actuando los árboles o arbustos como moduladores del mismo o “cortinas rompevientos” dependiendo de su ubicación y densificación; y mitigar el efecto invernadero debido a que adsorben CO₂, almacenan el carbono en la biomasa vegetal y regulan la temperatura convirtiéndolas en una herramienta eficaz. Al respecto, Nowak (1996) menciona que los beneficios de las áreas verdes urbanas para la salud son considerables siendo una de las más importantes la disminución de las enfermedades respiratorias. Quizás menos evidente, es el hecho que las áreas urbanas reducen el estrés y mejoran la salud al contribuir a un ambiente estéticamente placentero y relajante.

2.2.2. Contaminación del ecosistema urbano

Ecosistema urbano ha aumentado un alto crecimiento en los últimos años, solo basta observar algunas cifras de la ONU que mencionan que en 1990 solo 37 % de la población de países en vías de desarrollo vivía en ciudades, y que para el año 2025 se estima que el 61 % de la población estará urbanizada. Este rápido crecimiento es explicado por varios fenómenos como la caída de las tasas de mortalidad, la industrialización (que concentra las oportunidades de trabajo en las áreas urbanas), las altas tasas de fertilidad, una percepción popular sobre la existencia de mayores oportunidades en las áreas urbanas, así como problemas políticos y económicos en áreas rurales (PNUD, 1996).

2.2.2.1. Material particulado

Según la Organización Mundial de Salud (OMS, 2000), estas partículas incluyen partículas totales en suspensión (PTS), MP_{10} (partículas con diámetro aerodinámico mediano menor de 10 μm), $MP_{2,5}$ (partículas con diámetro aerodinámico mediano menor de 2,5 μm), partículas finas y ultra finas, escape de diésel, ceniza del carbón, polvos minerales (carbón, asbesto, piedra, caliza, cemento), polvos metálicos, humos, partículas de fluoruro, pigmentos de pintura, partículas de plaguicidas, carbón negro, etc. Al respecto, Sandoval (1989) menciona que el material particulado puede clasificarse principalmente en dos: Sedimentable y suspendido, este último puede ser subdividido por su diámetro aerodinámico en PM_{10} , $PM_{2.5}$.

Existen una diversidad de procedimientos para el monitoreo de estos contaminantes, siendo muchos de estos de altos costos por la utilización de equipos complejos. Dentro de estos procedimientos existen métodos pasivos de bajo costo con los que se calcula la concentración del contaminante denominado polvo atmosférico sedimentable (PAS) o contaminante sólido sedimentable (CSS) el cual proporciona una noción verídica de la calidad del aire. Es por esto que la OMS ha establecido límites máximos permisibles referentes a este agente contaminante (OMS, 2000).

2.2.2.2. Polvo atmosférico sedimentable (PAS) o contaminante sólido sedimentable (CSS)

Según Sandoval (1989), este contaminante está constituido por partículas con un diámetro mayor o igual a 10 micras, con tamaño y peso que está dentro de la influencia de la fuerza de atracción gravitatoria terrestre (gravedad), por lo que sedimentan y se depositan en forma de polvo en las diferentes superficies (edificios y objetos en exteriores e interiores, áreas verdes, avenidas y calles con o sin asfalto), desde donde vuelven a ser inyectados al aire por los llamados flujos turbulentos de las zonas urbanas; de este grupo de partículas, las más finas son las más peligrosas ya que tienen una mayor capacidad de penetración en el sistema respiratorio. La siguiente Figura 1, muestra la distribución de

partículas según su naturaleza y rango de diámetro.

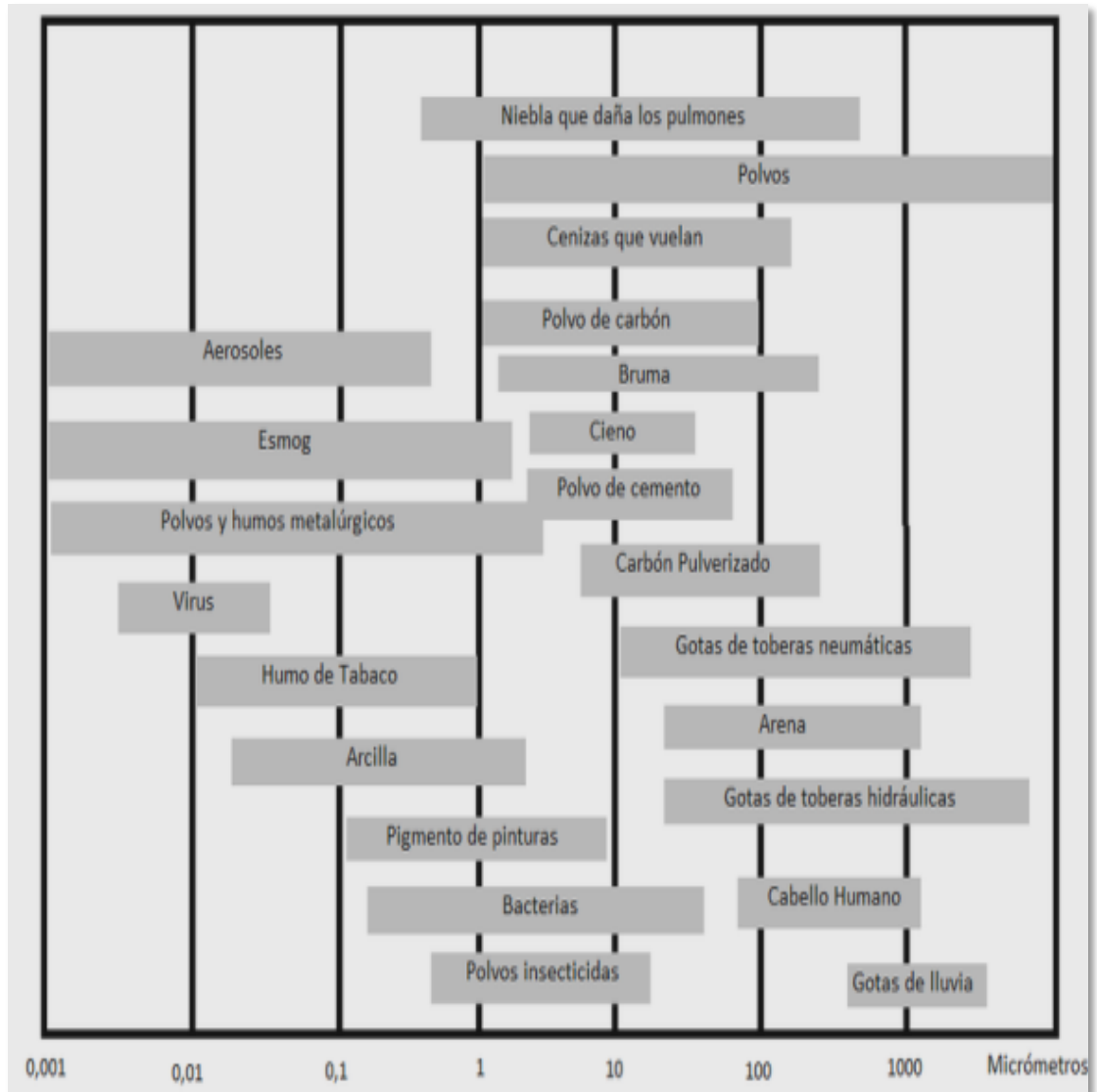


Figura 1. Distribución de partículas según diámetro aerodinámico

Fuente: Sandoval, 1989.

2.2.2.3. Fuentes de contaminación

Esta larga relación de contaminantes sedimentables puede tener diversas fuentes de emisión, pudiendo ser divididas en dos grandes grupos, las antropogénicas y las naturales. Como fuentes naturales se incluyen las tormentas de polvo, incendios forestales, emisiones volcánicas, polen de la fase de floración de las plantas, formación de partículas radioactivas de gases como

el radón y cualquier otra fuente natural que sin acción del hombre genere partículas. Como fuentes antropogénicas se incluyen procesos extractivos, transporte, concentración, fundición, refinería, comercialización de la actividad minera, quema de combustibles fósiles, fotoquímica de gases contaminantes primarios, y cualquier otra actividad industrial que genere partículas (OMS, 2000).

2.2.3. Efectos negativos de los contaminantes sedimentables

Con respecto a los efectos negativos, Turk (1973), afirma que existe evidencia real que la contaminación del aire por partículas sedimentables afecta la salud de las personas, animales, daña la vegetación, ensucia y deteriora los materiales, afecta el clima, reduce la visibilidad y la radiación solar, perjudica los procesos de producción, aumenta los riesgos, en general, dificulta el disfrute de la vida y de las cosas. Al respecto, Vicent (2004) menciona que este contaminante tiene un efecto nocivo para la vida en la troposfera, causando daño a la vida animal, vegetal y humana. Debido a que hay una gran variedad de efectos negativos que genera este contaminante, se detallarán en los siguientes párrafos según el medio, objeto o ser vivo al que afectan.

2.2.3.1. Efecto en la atmósfera

Según Turk (1973), los contaminantes sólidos sedimentables generan una reducción en la cantidad de luz solar que llega a la tierra, se reduce la visibilidad debido a la dispersión de la luz por partículas e inclusive llegan a afectar también mecanismos meteorológicos, tales como la formación de niebla.

2.2.3.2. Efecto en los seres humanos

Según la Organización Mundial de Salud (OMS, 2000), los efectos del material particulado suspendido (MPS), en los seres humanos dependen del tamaño y concentración de las partículas, además pueden variar según las fluctuaciones diarias de los niveles de este contaminante. Como efectos perjudiciales para la salud, este contaminante puede provocar principalmente enfermedades respiratorias e inclusive pueden causar cáncer, esto se ve

reflejado en la similitud entre el incremento de este contaminante con el de la mortalidad diaria, tasas de admisiones hospitalarias y casos de tos. Además, Turk (1973) agrupa estos efectos negativos sobre la salud en enfermedades agudas (susceptible de causar la muerte), enfermedades crónicas (bronquitis, efisema pulmonar o asma) y síntomas desfavorables generales e irritaciones.

2.2.3.3. Efecto en las plantas

Las partículas absorben y difunden la luz disminuyendo la penetración e intensidad de las radiaciones solares sobre las plantas, generando trastornos en sus actividades fotosintéticas, respiratorias, fotoquímicas atmosféricas lo que repercute en necrosis, muerte o menor periodo de vida. Estos trastornos son generados por una disminución de la penetración de radiaciones ultra violeta y del espectro visible, que generan a su vez una menor acción germicida, una menor acción clorofílica y un menor metabolismo del calcio por dificultar la síntesis de vitamina D (Mariano, 2002).

2.2.3.4. Efecto en las construcciones

La contaminación por partículas puede generar diversos efectos negativos sobre las construcciones debido a acciones mecánicas y químicas. Según Mariano (2002) la acción mecánica de este contaminante genera ennegrecimiento y abrasión por impacto de polvo, humos y cenizas. En cuanto a la acción química Vicent (2004) menciona que este contaminante puede generar corrosión por las sustancias que puedan llevar disueltas o adsorbidas. Al respecto, Turk (1973) afirma que son las partículas ácidas que contienen azufre las responsables de la corrosión de materiales como la pintura, los contactos eléctricos y los tejidos.

2.2.4. Calidad de aire en la ciudad de Puno

2.2.4.1. Concentración de PM₁₀

Según Phocco, H. (2014), las concentraciones de material particulado, menores o iguales a 10 micras en la ciudad de Puno, tienen un promedio aritmético de 41,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM₁₀ de concentración total, donde Laykakota

presenta 68,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Salcedo 59,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cancharani 40,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Óvalo Ramón Castilla 47,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Mercado Central 39,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Huajsapata 27,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Llavini 42,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Huáscar de 29,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Señor de Huanca 17,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tal como se muestra en la Figura 2; ninguno de los casos está por encima de los niveles permitidos en los ECA. Solo en los casos de Laykakota y Salcedo superan los niveles de OMS.

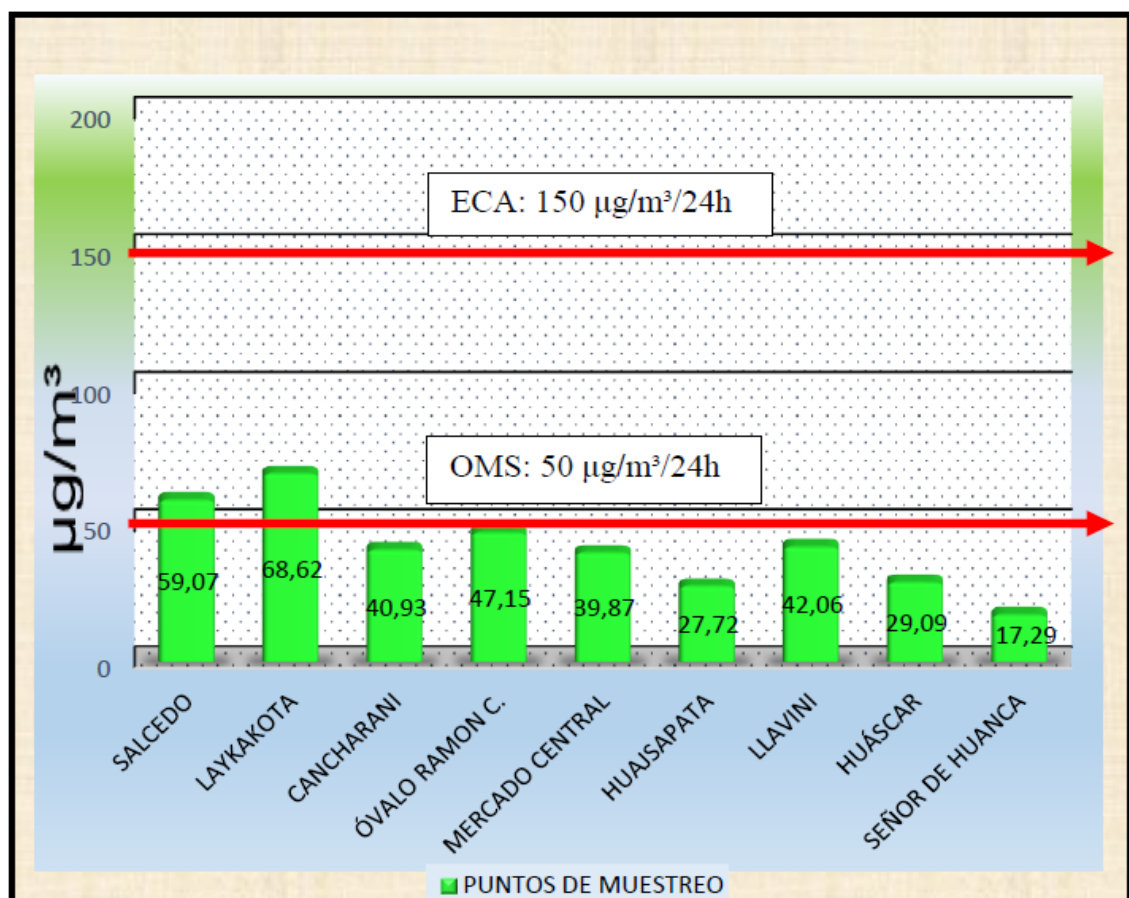


Figura 2. Concentraciones de material particulado de PM_{10} en la ciudad de Puno
Fuente: Phocco, H. (2014).

2.2.4.2. Concentración de $\text{PM}_{2.5}$

Según Quispe L. (2015), en la Figura 3, las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ en la ciudad de Puno son: Laykakota 30,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, humedad relativa 48,32 %, presión atmosférica 673,89 hPa y temperatura 19,90 °C, Salcedo 7,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, humedad relativa 58,26 %, presión atmosférica 644,77 hPa y temperatura 18,60 °C, Cancharani 20,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, humedad relativa 41,44 %, presión atmosférica

636,64 hPa, temperatura 12,70 °C, Óvalo Ramón Castilla con 19,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, humedad relativa 46,65 %, presión atmosférica 643,07 hPa y temperatura 21,20 °C, Mercado Central 17,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, humedad relativa 39,91 %, presión atmosférica 641,38 hPa y temperatura 21,50 °C, Huajsapata 17,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ humedad relativa 43,56 %, presión atmosférica 635,28 hPa y temperatura 13,70 °C, Llavini 16,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, humedad relativa 29,63 %, presión atmosférica 643,07 y temperatura 13,20, Huáscar 7,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, humedad relativa 32,47 %, presión atmosférica 640,07 hPa y temperatura 14,60 °C, Señor de Huanca 11,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, humedad relativa 42,18 %, presión atmosférica 632,91 hPa, temperatura 12,30 °C y las otras variables meteorológicas de velocidad y dirección del viento.

Fuente: Quispe, L. (2015)

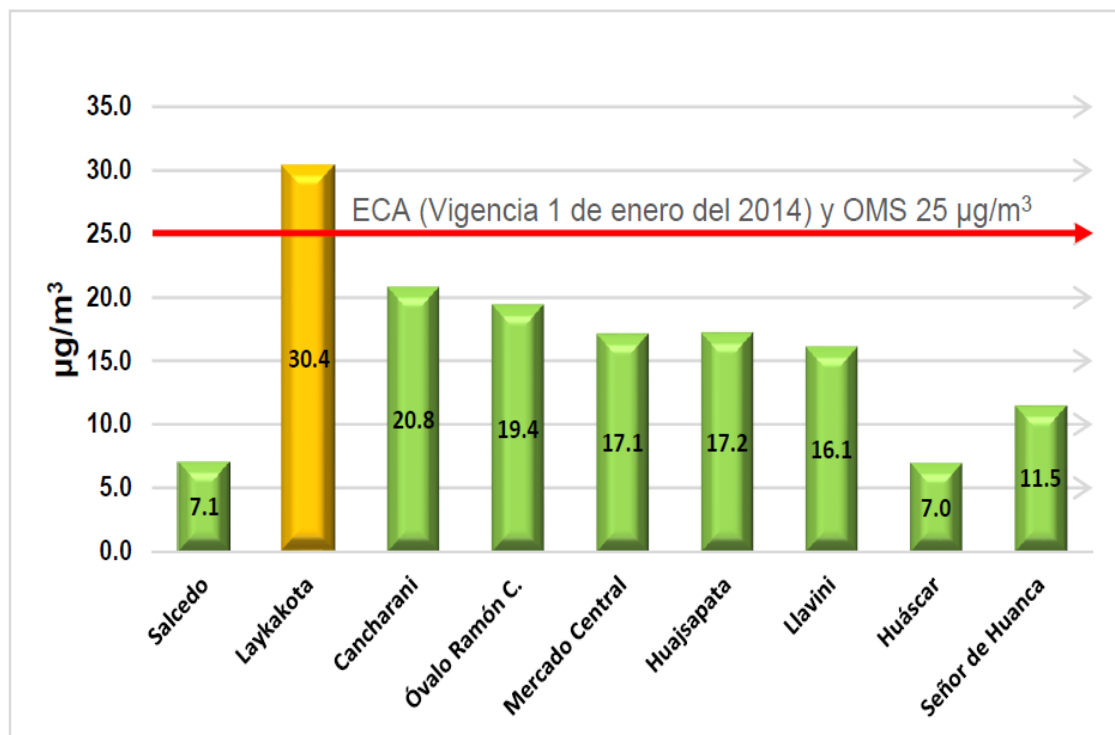


Figura 3. Concentraciones de material particulado de $\text{PM}_{2,5}$

2.2.5. Composición química del material particulado en la ciudad de Puno

En la Tabla 1 se muestra la caracterización química del material particulado menores a 10 micras de las nueve muestras obtenidas en el laboratorio de ensayo acreditado por INDECOPI con registro N° LE-047, Quispe A. (2015) concluye que la presencia de elementos químicos metálicos como son: Arsénico

(As), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn); presentes en cada punto de observación.

Tabla 1
Caracterización de las muestras captados en la ciudad de Puno

REFERENCIA DEL PUNTO DE MUESTREO	CODIGO	METALES (μm^3)									
		Arsénico (As)	Cadmio (Cd)	Cromo (Cr)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	
ZONA NORTE	Sr. De Huanca	ZN-1	<0.00004	0.0001	0.0019	0.0291	0.3241	0.0270	<0.00001	0.0017	0.0055
	Huáscar	ZN-2	<0.00004	0.0001	0.0025	0.0555	0.4244	0.0276	<0.00001	0.0052	0.0139
	Llavini	ZN-3	0.0007	0.0002	0.0023	0.0712	0.7023	0.0405	<0.00001	0.0039	0.0140
ZONA CENTRO	Huajsapata	ZC-1	<0.00004	0.0001	0.0025	0.0869	0.6297	0.1162	<0.00001	0.0039	0.0118
	Mercado Central	ZC-2	0.0015	0.0002	0.0119	0.1030	0.6096	0.0413	<0.00001	0.0155	3.3879
	Ovalo Ramón Castilla	ZC-3	0.0021	0.0003	0.0123	0.0915	0.7120	0.0519	<0.00001	0.0069	3.4102
ZONA SUR	Cancharani	ZS-1	0.0003	0.0002	0.0022	0.0692	1.1036	0.0691	<0.00001	0.0072	0.0138
	Laykakota	ZS-2	0.0006	0.0004	0.0032	0.1125	1.2100	0.1012	<0.00001	0.0098	0.0298
	Salcedo	ZS-3	0.0006	0.0002	0.0032	0.0245	1.0639	0.0549	<0.00001	0.0068	0.0181
\bar{x}			0.0008	0.0002	0.0047	0.0715	0.7533	0.0589	<0.00001	0.0068	0.7672

Fuente: Quispe A. (2015)

Según Quispe A. (2015), en las muestras de PM_{10} el componente con promedio de la ciudad de Puno más abundante ha sido el zinc dentro de la ciudad de Puno con un valor de $0,7672 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y la zona con el componente más abundante entre los diferentes puntos de evaluación fue la ZC-03 (Ovalo Ramón Castilla) con $3,4102 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de zinc y dentro de los metales en el aire considerados de mayor riesgo como el arsénico y el plomo, el arsénico (As) se encuentran por debajo de lo establecido en el nivel máximo permisible para arsénico según Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM, y la concentración de plomo (Pb) en los nueve puntos de evaluación en la ciudad de Puno no están por encima del ECA establecido de acuerdo al Decreto Supremo N°074-2001-PCM-CONAM, y para los demás elementos presentes en el PM_{10} no cuentan con normativas para tales parámetros en el Perú.

2.2.5.1. Aluminio – Al

Elemento químico metálico, de símbolo Al, número atómico 13, peso atómico 26,9815, que pertenece al grupo IIIA del sistema periódico. El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles. Las aleaciones de aluminio son ligeras, fuertes, y de fácil formación para muchos procesos de metalistería; son fáciles de ensamblar, fundir o maquinar y aceptan gran variedad de acabados. Por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en el metal no ferroso de mayor uso (Wright, 2003).

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la tierra y en la luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza. Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de alúmino silicato. Cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos. En esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en la producción de aluminio (Wright, 2003).

2.2.5.1.1. Efectos del aluminio sobre la salud

El aluminio es uno de los metales más ampliamente usados y también uno de los más frecuentemente encontrados en los compuestos de la corteza terrestre. Debido a este hecho, el aluminio es comúnmente conocido como un compuesto inocente. Pero todavía, cuando uno es expuesto a altas concentraciones, este puede causar problemas de salud. La forma soluble en agua el aluminio causa efectos perjudiciales, estas partículas son llamadas iones. Son usualmente encontradas en soluciones de aluminio combinadas con otros iones, por ejemplo, cloruro de aluminio (Wright, 2003).

La toma de aluminio puede tener lugar a través de la comida, respirarlo y por contacto en la piel. La toma de concentraciones significantes de aluminio puede causar un efecto serio en la salud como:

- ❖ Daño al sistema nervioso central
- ❖ Demencia
- ❖ Pérdida de la memoria
- ❖ Apatía
- ❖ Temblores severos

2.2.5.1.2. Efectos ambientales del aluminio

Los efectos del aluminio han atraído la atención, mayormente debido a los problemas de acidificación. El aluminio puede acumularse en las plantas y causar problemas de salud a animales que consumen esas plantas. Las concentraciones de aluminio parecen ser muy altas en lagos acidificados. En estos lagos el número de peces y anfibios están disminuyendo debido a las reacciones de los iones de aluminio con las proteínas de las agallas de los peces y los embriones de las ranas. Altas concentraciones de aluminio no sólo pueden ser encontrados en lagos ácidos y aire, también en aguas subterráneas y suelos ácidos. Hay fuertes indicadores de que el aluminio puede dañar las raíces de los árboles cuando estas están localizadas en las aguas subterráneas (Wright, 2003).

2.2.5.2. Arsénico - As

Elemento químico, cuyo símbolo es As y su número atómico, 33. El arsénico se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza y uno de los 22 elementos conocidos que se componen de un solo nucleido estable, el peso atómico es de 74,922. Se conocen otros 17 nucleidos radiactivos de As. Al arsénico se le encuentra natural como mineral de cobalto, aunque por lo general está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag, Sn. El principal mineral del arsénico es la arsenopirita, pilo (FeAsS); otros arseniuros metálicos son los minerales löllingita (FeAs_2), nicolita (NiAs), cobalto brillante (CoAsS), gersdorfitita (NiAsS) y esmaltita (CoAs_2). Los arseniatos y ti arseniatos naturales son comunes y la mayor parte de los minerales de sulfuro contienen arsénico (Wright, 2003).

2.2.5.2.1. Efectos del arsénico sobre la salud

El arsénico es uno de los más tóxicos elementos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces a arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. Los humanos pueden ser expuestos al arsénico a través de la comida, agua y aire (Wright, 2003).

La exposición puede también ocurrir a través del contacto con la piel con suelo o agua que contenga arsénico. A exposiciones muy altas de arsénico inorgánico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres. Finalmente, el arsénico inorgánico puede dañar el ADN. El arsénico orgánico no puede causar cáncer, ni tampoco daño al ADN. Pero exposiciones a dosis elevadas puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como es lesión de nervios y dolores de estómago (Wright, 2003).

2.2.5.2.2. Efectos ambientales del arsénico

El arsénico es un componente que es extremadamente duro de convertir en productos solubles en agua o volátiles. En realidad, el arsénico es naturalmente específicamente un compuesto móvil, básicamente significa que grandes concentraciones no aparecen probablemente en un sitio específico. Esto es una buena cosa, pero el punto negativo es que la contaminación por arsénico llega a ser un tema amplio debido al fácil esparcimiento de este. El arsénico no se puede movilizar fácilmente cuando este es inmóvil. Debido a las actividades humanas, mayormente a través de la minería y las fundiciones, naturalmente el arsénico inmóvil se ha movilizó también y puede ahora ser encontrado en muchos lugares donde ellos no existían de forma natural (Wright, 2003).

Las plantas absorben arsénico bastante fácil, así que alto rango de concentraciones pueden estar presentes en la comida. Las concentraciones del peligroso arsénico inorgánico que está actualmente presente en las aguas

superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces. Esto es mayormente causado por la acumulación de arsénico en los organismos de las aguas dulces consumidores de plantas. Las aves comen peces que contienen eminentes cantidades de arsénico y morirán como resultado del envenenamiento por arsénico como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos (Wright, 2003).

2.2.5.3. Bario - Ba

Elemento químico, Ba, con número atómico 56 y peso atómico de 137,34 el bario ocupa el decimotavo lugar en abundancia en la corteza terrestre, en donde se encuentra en un 0,04 %, valor intermedio entre el calcio y el estroncio, los otros metales alcalinotérreos. Los compuestos de bario se obtienen de la minería y por conversión de dos minerales de bario. La barita, o sulfato de bario, es el principal mineral y contiene 65,79 % de óxido de bario. Algunas veces llamada espato pesado, es carbonato de bario y contiene 72 % de óxido de bario (Wright, 2003).

2.2.5.3.1. Efectos del bario sobre la salud

De forma natural los niveles de bario en el medio ambiente son muy bajos. Altas cantidades de bario pueden sólo ser encontradas en suelos y en comida, como son los frutos secos, algas, pescados y ciertas plantas. La cantidad de bario que es detectada en la comida y en agua generalmente no es suficientemente alta como para llegar a ser concerniente a la salud. La gente con un gran riesgo a la exposición del bario con efectos adicionales sobre la salud son los que trabajan en la industria del bario. Los mayores riesgos para la salud que ellos pueden sufrir son causados por respirar aire que contiene sulfato de bario o carbonato de bario (Wright, 2003).

2.2.5.3.2. Efectos ambientales del bario

El bario es un metal plateado-blancuzco que puede ser encontrado en el medioambiente, donde existe de forma natural. Aparece combinado con otros elementos químicos, como el azufre, carbón u oxígeno (Wright, 2003).

Los compuestos del bario son usados por las industrias del aceite y gas para hacer lubricantes para taladros. Los compuestos del bario son también usados para hacer pinturas, bricks, azulejos, vidrio y gomas (Wright, 2003).

2.2.5.4. Cadmio - Cd

Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; tiene relación estrecha con el zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado. Es más blando y maleable que el zinc, pero poco más duro que el estaño. Peso atómico de 112,40 y densidad relativa de 8,65 a 20 °C su punto de fusión de 320,9 °C y de ebullición de 765 °C es inferiores a los del zinc. Hay ocho isótopos estables en la naturaleza y se han descrito once radioisótopos inestables de tipo artificial. El cadmio es miembro del grupo IIb (zinc, cadmio y mercurio) en la tabla periódica, y presenta propiedades químicas intermedias entre las del zinc metálico en soluciones ácidas de sulfato. El cadmio es divalente en todos sus compuestos estables y su ion es incoloro (Wright, 2003).

2.2.5.4.1. Efectos del cadmio sobre la salud

El cadmio puede ser encontrado mayoritariamente en la corteza terrestre. Este siempre ocurre en combinación con el zinc. El cadmio también consiste en las industrias como inevitable subproducto del zinc, plomo y cobre extracciones. Después de ser aplicado este entra en el ambiente mayormente a través del suelo, porque es encontrado en estiércoles y pesticidas (Wright, 2003).

Una exposición a niveles significativamente altas ocurre cuando la gente fuma. El humo del tabaco transporta el cadmio a los pulmones. La sangre transportará el cadmio al resto del cuerpo donde puede incrementar los efectos

por potenciación del cadmio que está ya presente por comer comida rica en cadmio. Otra alta exposición puede ocurrir con gente que vive cerca de los vertederos de residuos peligrosos o fábricas que liberan cadmio en el aire y gente que trabaja en las industrias de refinerías del metal. Cuando la gente respira el cadmio este puede dañar severamente los pulmones. Esto puede incluso causar la muerte. El cadmio primero es transportado hacia el hígado por la sangre (Wright, 2003).

Otros efectos sobre la salud que pueden ser causados por el cadmio son:

- ❖ Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos.
- ❖ Fractura de huesos.
- ❖ Fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad.
- ❖ Daño al sistema nervioso central.
- ❖ Daño al sistema inmune.
- ❖ Desordenes psicológicos.
- ❖ Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer.

2.2.4.4.2. Efectos ambientales del cadmio

De forma natural grandes cantidades de cadmio son liberadas al ambiente, sobre 25 000 toneladas al año. La mitad de este cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y algún cadmio es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes. El resto del cadmio es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación (Wright, 2003).

Las aguas residuales con cadmio procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son por ejemplo la producción de zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. El cadmio de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles. Debido a las regulaciones sólo una pequeña cantidad de

cadmio entra ahora en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias (Wright, 2003).

2.2.5.5. Cobalto - Co

Elemento químico metálico Co, con número atómico de 27 y un peso atómico de 58,93. El cobalto se parece al hierro y al níquel, tanto en estado libre como combinado. Se encuentra distribuido con amplitud en la naturaleza y forma, aproximadamente, el 0,001 % del total de las rocas ígneas de la corteza terrestre, en comparación con el 0,02 % del níquel. Se halla en meteoritos, estrellas, en el mar, en aguas dulces, suelos, plantas, animales y en los nódulos de manganeso encontrados en el fondo del océano. Se observan trazas de cobalto en muchos minerales de hierro, níquel, cobre, plata, manganeso y zinc; pero los minerales de cobalto importantes en el comercio son los arseniuros, óxidos y sulfuros. El cobalto y sus aleaciones son resistentes al desgaste y a la corrosión, aun a temperaturas elevadas. Entre sus aplicaciones comerciales más importantes están; la preparación de aleaciones para uso a temperaturas elevadas, aleaciones magnéticas, aleaciones para máquinas y herramientas, sellos vidrio a metal y la aleación dental y quirúrgica llamada *vitallium*. Las plantas y los animales necesitan cantidades pequeñas de cobalto (Wright, 2003).

2.2.5.5.1. Efectos del cobalto sobre la salud

El cobalto está ampliamente dispersado en el ambiente de los humanos por lo que estos pueden ser expuesto a él por respirar el aire, beber agua y comer comida que contengan cobalto. El contacto cutáneo con suelo o agua que contenga cobalto puede también aumentar la exposición (Wright, 2003).

El cobalto no está a menudo libremente disponible en el ambiente, pero cuando las partículas del cobalto no se unen a las partículas del suelo o sedimento la toma por las plantas y animales es mayor y la acumulación en plantas y animales puede ocurrir. Cuando las plantas crecen sobre suelos contaminados estas acumularán muy pequeñas partículas de cobalto,

especialmente en las partes de la planta que nosotros comemos, como son los frutos y las semillas (Wright, 2003).

Los efectos sobre la salud que son el resultado de la toma de altas concentraciones de cobalto son:

- ❖ Vómitos y náuseas.
- ❖ Problemas de visión.
- ❖ Problemas de corazón.
- ❖ Daño del tiroides.

2.2.5.5.2. Efectos ambientales del cobalto

El cobalto es un elemento que ocurre de forma natural en el medio ambiente en el aire, agua, suelo, rocas, plantas y animales. Este puede también entrar en el aire y el agua y depositarse sobre la tierra a través del viento y el polvo y entrar en la superficie del agua a través de la escorrentía cuando el agua de lluvia corre a través del suelo y rocas que contienen cobalto (Wright, 2003).

El cobalto se acumulará en plantas y en cuerpos de animales que comen esas plantas, pero no es conocido que el cobalto sufra biomagnificación en la cadena alimentaria. Debido a que las frutas, vegetales, peces y otros animales que nosotros comemos usualmente no contienen altas cantidades de cobalto (Wright, 2003).

2.2.5.6. Cobre - Cu

Elemento químico, de símbolo Cu, con número atómico 29; uno de los metales de transición e importante metal no ferroso. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia. El cobre fue uno de los primeros metales usados por los humanos (Wright, 2003).

2.2.5.6.1. Efectos del cobre sobre la salud

El cobre es una sustancia muy común que ocurre naturalmente y se extiende a través del ambiente a través de fenómenos naturales, los humanos usan ampliamente el cobre. Por ejemplo, este es aplicado en industrias y en agricultura. La producción de cobre se ha incrementado en las últimas décadas y debido a esto las cantidades de cobre en el ambiente se ha expandido (Wright, 2003).

El cobre puede ser encontrado en muchas clases de comidas, en el agua potable y en el aire. Debido a que absorbemos una cantidad eminente de cobre cada día por la comida, bebiendo y respirando. Las absorciones del cobre son necesarias, porque el cobre es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de cobre proporcionalmente altas, mucho cobre puede también causar problemas de salud (Wright, 2003).

Exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte. Si el cobre es cancerígeno no ha sido determinado aún (Wright, 2003).

2.2.5.6.2. Efectos ambientales del cobre

El cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión. El cobre en el aire permanecerá por un periodo de tiempo eminente, antes de depositarse cuando empieza a llover. Este terminará mayormente en los suelos, como resultado los suelos pueden también contener grandes cantidades de cobre después de que esté sea depositado desde el aire (Wright, 2003).

El cobre no se rompe en el ambiente y por eso se puede acumular en plantas y animales cuando este es encontrado en suelos. En suelos ricos en cobre sólo un número pequeño de plantas pueden vivir. Por esta razón no hay diversidad de plantas cerca de las fábricas de cobres, debido al efecto del cobre sobre las plantas, es una seria amenaza para la producción en las granjas. El cobre puede seriamente influir en el proceso de ciertas tierras agrícolas, dependiendo de la acidez del suelo y la presencia de materia orgánica. A pesar de esto el estiércol que contiene cobre es todavía usado (Wright, 2003).

2.2.5.7. Plomo - Pb

Elemento químico, Pb, número atómico 82 y peso atómico 207,19. El plomo es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11,4 a 16 °C de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad, se funde a 327,4 °C y hierve a 1725 °C. Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. El plomo forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos (Wright, 2003).

2.2.5.7.1. Efectos del plomo sobre la salud

El plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. Este ha sido usado ampliamente desde antes de Cristo para aplicaciones en productos metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida 65 %, agua 20 % y aire 15 % (Wright, 2003).

Las comidas como fruta, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vino pueden contener cantidades significantes de plomo. El humo de los cigarrillos también contiene pequeñas cantidades de plomo (Wright, 2003).

El plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida, el plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua (Wright, 2003).

El plomo puede causar varios efectos no deseados, como son:

- ❖ Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia.
- ❖ Incremento de la presión sanguínea.
- ❖ Daño a los riñones.
- ❖ Abortos y abortos sutiles.
- ❖ Perturbación del sistema nervioso.
- ❖ Daño al cerebro.
- ❖ Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma.
- ❖ Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños.
- ❖ Perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad.

2.2.5.7.2. Efectos ambientales del plomo

El plomo ocurre de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones que son encontradas en el ambiente son el resultado de las actividades humanas (Wright, 2003).

Debido a la aplicación del plomo en gasolinas un ciclo no natural del plomo tiene lugar. En los motores de los coches el plomo es quemado, eso genera sales de plomo (cloruros, bromuros, óxidos) se originarán (Wright, 2003).

Estas sales de plomo entran en el ambiente a través de los tubos de escape de los coches. Las partículas grandes precipitarán en el suelo o la superficie de aguas, las pequeñas partículas viajarán largas distancias a través del aire y permanecerán en la atmósfera. Parte de este plomo caerá de nuevo sobre la tierra cuando llueva. Este ciclo del plomo causado por la producción humana está

mucho más extendido que el ciclo natural del plomo. Este ha causado contaminación por plomo haciéndolo en un tema mundial no sólo la gasolina con plomo causa concentración de plomo en el ambiente. Otras actividades humanas, como la combustión del petróleo, procesos industriales, combustión de residuos sólidos, también contribuyen. Plomo es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias (Wright, 2003).

2.2.5.8. Manganeseo - Mn

Elemento químico, símbolo Mn, de número atómico 25 y peso atómico 54,938. Es uno de los metales de transición del primer periodo largo de la tabla periódica; se encuentra entre el cromo y el hierro. Tiene propiedades en común con ambos metales. Aunque poco conocido o usado en su forma pura, reviste gran importancia práctica en la fabricación de acero (Wright, 2003).

Los compuestos de manganeso tienen muchas aplicaciones en la industria. El dióxido de manganeso se usa como un agente desecante o catalizador en pinturas y barnices y como decolorante en la fabricación de vidrio y en pilas secas. El permanganato de potasio se emplea como blanqueador para decoloración de aceites y como un agente oxidante en química analítica y preparativa (Wright, 2003).

2.2.5.8.1. Efectos del manganeso sobre la salud

El manganeso es un compuesto muy común que puede ser encontrado en todas partes en la tierra. Manganeso es uno de los tres elementos trazas tóxicos esenciales, lo cual significa que no es sólo necesario para la supervivencia de los humanos, pero que es también tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones en los humanos. Cuando la gente no cumple con la ración diaria recomendada su salud disminuirá. Pero cuando la toma es demasiado alta problemas de salud aparecerán (Wright, 2003).

Porque el manganeso es un elemento esencial para la salud de los humanos la falta de este puede también causar efectos sobre la salud. Estos son los siguientes efectos:

- ❖ Engordar.
- ❖ Intolerancia a la glucosa.
- ❖ Coágulos de sangre.
- ❖ Problemas de la piel.
- ❖ Bajos niveles de colesterol.
- ❖ Desorden del esqueleto.
- ❖ Defectos de nacimiento.
- ❖ Cambios en el color del pelo.
- ❖ Síntomas neurológicos.

2.2.5.8.2. Efectos ambientales del manganeso

Los compuestos del manganeso existen de forma natural en el ambiente como sólidos en suelos y pequeñas partículas en el agua. Las partículas de manganeso en el aire están presentes en las partículas de polvo. Estas usualmente se depositan en la tierra en unos pocos días (Wright, 2003).

Los humanos aumentan las concentraciones de manganeso en el aire por las actividades industriales y a través de la quema de productos fósiles. El manganeso que deriva de las fuentes humanas puede también entrar en la superficie del agua, aguas subterráneas y aguas residuales. A través de la aplicación del manganeso como pesticida el manganeso entrará en el suelo (Wright, 2003).

Concentraciones altamente tóxicas de manganeso en suelo pueden causar inflamación de la pared celular, abrasamiento de las hojas y puntos marrones en las hojas. La deficiencia puede también causar estos efectos entre concentraciones tóxicas y concentraciones que causan deficiencias una

pequeña área de concentraciones donde el crecimiento de la planta es óptimo puede ser detectado (Wright, 2003).

2.2.5.9. Molibdeno - Mo

Elemento químico, símbolo Mo, con número atómico 42 y peso atómico 95,94; es uno de los elementos de transición. Metal gris plateado con una densidad de 10,2 g/cm³, se funde a 2610 °C (Wright, 2003).

El molibdeno se encuentra en muchas partes del mundo, pero pocos depósitos son lo suficientemente ricos para garantizar la recuperación de los costos. La mayor parte del molibdeno proviene de minas donde su recuperación es el objetivo primario de la operación. El restante se obtiene como un subproducto de ciertas operaciones del beneficio del cobre (Wright, 2003).

2.2.5.9.1. Efectos del molibdeno sobre la salud

Basado en experimentación animal, el molibdeno y sus compuestos son altamente tóxicos. Se ha informado de alguna evidencia de disfunción hepática con hiperbilirubinemia en trabajadores crónicamente expuestos a una planta soviética de molibdeno y cobre. Además, se han encontrado signos de gota en trabajadores de fábricas y entre los habitantes de zonas de Armenia ricas en molibdeno. Las características principales fueron dolores de la articulación de las rodillas, manos, pies, deformidades en las articulaciones, eritemas, y edema de las zonas de articulación (Wright, 2003).

2.2.5.9.2. Efectos ambientales del molibdeno

No se han documentado efectos negativos del molibdeno sobre el medio ambiente (Wright, 2003).

2.2.5.10. Selenio - Se

Elemento químico, símbolo Se, número atómico 34 y peso atómico 78, 96. Sus propiedades son semejantes a las del telurio (Wright, 2003).

La abundancia de este elemento, ampliamente distribuido en la corteza terrestre, encontrándose en forma de seleniuros de elementos pesados y en menor cantidad, como elemento libre en asociación con azufre elemental. Sus minerales no se encuentran en suficiente cantidad para tener utilidad, como fuente comercial del elemento, y por ello los minerales de sulfuro de cobre celeríferos son los que representan la fuente primaria (Wright, 2003).

2.2.5.10.1. Efectos del selenio sobre la salud

Los humanos pueden estar expuestos al selenio de varias formas diferentes. La exposición al selenio tiene lugar bien a través de la comida o el agua, o cuando nos ponemos en contacto con tierra o aire que contiene altas concentraciones de selenio. Esto no es muy sorprendente, porque el selenio se da naturalmente en el medio ambiente de forma muy amplia y está muy extendido (Wright, 2003).

2.2.5.10.2. Efectos ambientales del selenio

El selenio se presenta naturalmente en el medio ambiente. Es liberado tanto a través de procesos naturales como de actividades humanas. En su forma natural el selenio como elemento no puede ser creado ni destruido, pero tiene la capacidad de cambiar de forma (Wright, 2003).

Existe evidencia de que el selenio puede acumularse en los tejidos corporales de los organismos y puede ser transportada en la cadena alimenticia hacia niveles superiores. Normalmente esta biomagnificación de selenio comienza cuando los animales ingieren muchas plantas que han estado absorbiendo enormes cantidades de selenio, antes de la ingestión. Debido a la irrigación, las concentraciones de selenio en la escorrentía tienden a ser muy altas en organismos acuáticos en muchas zonas (Wright, 2003).

Cuando los animales absorben o acumulan concentraciones de selenio extremadamente grandes, puede causar fallo reproductivo y defectos de nacimiento (Wright, 2003).

2.2.5.11. Estroncio - Sr

Elemento químico, símbolo Sr, de número atómico 38 y peso atómico 87,62. El estroncio es el menos abundante de los metales alcalinotérreos. La corteza de la tierra contiene el 0,042 % de estroncio, y este elemento es tan abundante como el cloro y el azufre. Los principales minerales son la celestita, SrSO_4 , y la estroncianita, SrCO_3 (Wright, 2003).

El nitrato de estroncio se emplea en pirotecnia, señalamiento de vías férreas y en fórmulas de balas trazadoras. El hidróxido de estroncio forma con cierto número de ácidos orgánicos jabones y grasas de estructura estable, resistentes a la oxidación y a la descomposición en una amplia gama de temperaturas (Wright, 2003).

2.2.5.11.1. Efectos del estroncio sobre la salud

Los compuestos del estroncio que son insolubles en agua pueden llegar a ser solubles en agua, como resultado de reacciones químicas. Los compuestos solubles en agua constituyen una mayor amenaza para la salud de los humanos que los compuestos insolubles en agua. Además, las formas solubles del estroncio tienen la oportunidad de contaminar el agua. Afortunadamente las concentraciones en agua potable son a menudo bastante bajas (Wright, 2003).

El estroncio radiactivo tiene un mayor riesgo para la salud que el estroncio estable. Cuando es tomado en grandes concentraciones puede producir anemia y falta de oxígeno, y en extremadamente altas concentraciones puede incluso causar cáncer como resultado de dañar el material genético de las células (Wright, 2003).

2.2.5.11.2. Efectos ambientales del estroncio

El estroncio en su estado elemental ocurre de forma natural en muchos compartimentos del medio ambiente, incluyendo rocas, suelo, agua y aire. Los compuestos del estroncio pueden moverse a través del medio ambiente con bastante facilidad, porque mucho de los compuestos son soluble en agua (Wright, 2003).

Estroncio está siempre presente en el aire como polvo, en un cierto nivel. Las concentraciones de estroncio en el aire son incrementadas por las actividades humanas, como es la combustión de carbón y aceite. Partículas de polvo que contienen estroncio precipitarán en las aguas superficiales, en el suelo o en las superficies de las plantas en algún lugar. Cuando las partículas no precipitan estas volverán a caer a la tierra cuando llueve o cuando nieve. Todo el estroncio eventualmente terminará en los suelos o en los fondos de las masas de aguas, donde se mezcla con el estroncio que está ya presente. El estroncio puede terminar en el agua a través de suelos y a través de la erosión de rocas. Sólo una pequeña parte del estroncio en agua procede de partículas de polvo del aire. La mayor parte del estroncio en agua está disuelta, pero algo de él está suspendido, causando turbidez de agua en algunos puntos. No mucho estroncio termina en el agua potable (Wright, 2003).

2.2.6. Fuentes de contaminación del aire en ciudad de Puno

La concentración de PM_{10} según la investigación de Phocco, H. (2013), indica que hay una fuerte asociación entre los niveles de concentración de partículas y las emisiones antropogénicas, mayoritariamente de tráfico vehicular respecto a los máximos en los puntos de muestreo ver la Figura 4.

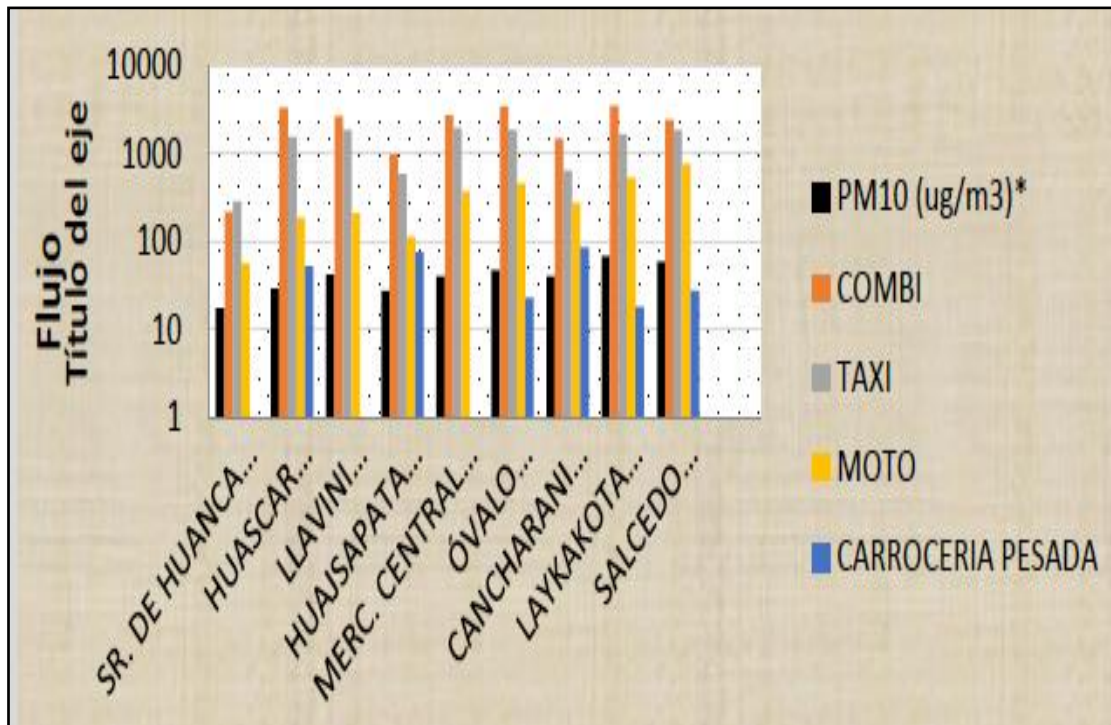


Figura 4. Tráfico vehicular

Fuente: Phocco, M. (2014).

2.2.6.1. Actividades antropogénicas identificadas en la ciudad Puno

Según Phocco, H. (2014), en la Figura 5, se da a conocer las actividades antropogénicas en cada estación de estudio:

- ❖ En Salcedo se tiene: 20 hornos de ladrillo, 12 construcciones, 7 restaurantes, 4 aserraderos industriales, 4 mueblerías y ebanisterías, 4 estructuras metálicas, 1 fundición de mármoles y de pintura y un taller automotriz.
- ❖ Laykakota presenta: 11 mueblerías y ebanisterías, 10 construcciones, 7 restaurantes, 7 guardacarros, 5 pollerías, 5 talleres automóviles, 4 llanterías, 4 estructuras metálicas, 4 aserraderos industriales, 4 mueblerías y ebanisterías.
- ❖ Cancharani presenta: 4 construcciones, 4 restaurantes y 1 mueblería y ebanistería, taller automóvil, estructura metálica, pollería y un horno.
- ❖ De misma manera en ovalo Ramón Castilla tenemos: 11 pollerías, 10 restaurantes, 5 construcciones, 4 estructuras metálicas, 3 hornos y 2 mueblerías

- ❖ El Mercado Central posee: 20 restaurants, 19 pollerías, 7 construcciones y 6 hornos.
- ❖ Huajsapata presenta: 4 construcciones, 3 restaurants, 1 horno
- ❖ En Llavini se tiene: 10 construcciones, 6 restaurants y 2 hornos.
- ❖ De la misma manera, Huáscar posee: 11 restaurants, 2 hornos y un guardacarros y por último en Señor de Huanca ostenta: 4 construcciones y 2 restaurants

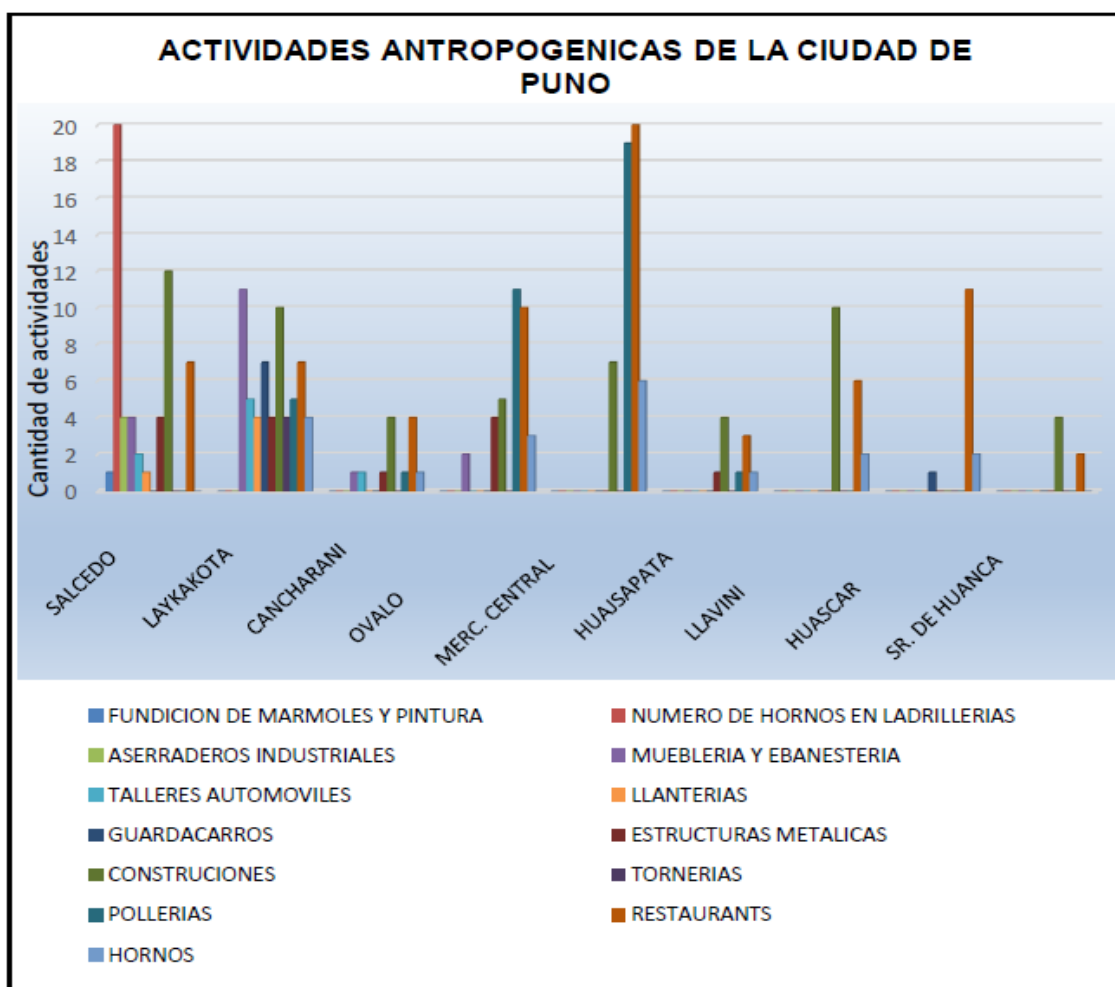


Figura 5. Actividades antropogénicas reconocidos en cada punto de evaluación
Fuente: Phocco, M. (2014).

2.2.7. Normas nacionales

El Perú no presenta normativa alguna con respecto a los límites máximos permisibles (LMP) para contaminantes sólidos sedimentables, instituciones

como DIGESA y SENAMHI adoptan los estándares de calidad ambiental de la OMS presentados en la Tabla 2, como referencia el monitoreo de este contaminante.

Tabla 2

Límites máximos permisibles

INSTITUCIÓN	TIEMPO PROMEDIO	LÍMITES MÁXIMOS mg/cm²/30/días	TÉCNICA – MÉTODO
DIGESA Dirección General de Salud Ambiental	30 días	0,5	Gravimétrico Estudio de polvo sedimentable (jarras)
SENAMHI Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología	30 días	0,5	Gravimétrico Estudio de polvo sedimentable (jarras), polvo atmosférico (placas de vidrio)

Fuente: DIGESA, SENAMHI (2008)

2.2.8. Normas internacionales

En la siguiente Tabla 3, se presenta estándares de calidad ambiental para el estudio de polvo sedimentable, cada país tiene una norma reglamentada cuyos límites se muestra a continuación cuyos valores establecidos en cada país se debe a su ubicación y zona geográfica.

Tabla 3

Estándares de contaminante sedimentable por países.

PAIS	TIEMPO PROMEDIO	ECA mg/cm²/30/días	TÉCNICA
Argentina	30 días	1	Gravimetría
Suiza	30 días	0,6	Gravimetría
Costa Rica	30 días	1	Gravimetría
Ecuador	30 días	1	Gravimetría
Colombia	30 días	1	Gravimetría
Chile	30 días	0,5	Gravimetría
México	30 días	1	Gravimetría

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria -CEPIS

2.2.9. Condiciones relacionadas con la contaminación por partículas

Los parámetros meteorológicos deben tomarse en cuenta, ya que están directamente relacionados con la dispersión de los contaminantes atmosféricos. Según la Organización Mundial de Salud (OMS, 2000), las variaciones diarias en las concentraciones de contaminantes están más afectadas por las condiciones meteorológicas que por los cambios en la magnitud de las fuentes. Por ello Cortelo (2012) afirma que la dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad, precipitación y radiación solar constituyen factores importantes que influyen en la calidad del aire y determinan condiciones de transporte o remoción, diseminación en el entorno, dilución o concentración de los contaminantes.

2.2.9.1. Viento

De todos estos fenómenos meteorológicos condicionantes, son la velocidad del viento y la turbulencia atmosférica las más relevantes en la dispersión de los contaminantes. Vicent (2004) refiere la rapidez del contaminante se separa de la fuente que lo ha originado, mientras que la segunda posibilita los efectos de mezcla y dispersión del contaminante; a mayor turbulencia, mayores grados de dilución alcanzará el contaminante.

Córtelo (2012), afirma que la dispersión de contaminantes está en función a la dirección del viento ya que condiciona la dirección a la cual se desplazarán los contaminantes, la velocidad del viento porque relacionada directamente con la capacidad de dispersión, y la turbulencia porque provoca acumulación de contaminantes. En relación a estos efectos, la OMS (2000) menciona que el viento provoca que la concentración de contaminantes tenga una relación inversa a su velocidad, para fuentes ubicadas a nivel del suelo, y que la turbulencia y dispersión de contaminantes se incrementa en espacios accidentados como la ciudad.

2.2.9.2. Temperatura y altitud

Cortelo (2012) menciona que otros parámetros importantes relacionados a la contaminación por partículas son la temperatura y la altitud, los cuales determinan los movimientos de las masas de aire y, por lo tanto, las condiciones de estabilidad o inestabilidad atmosféricas. Así mismo, las variaciones verticales de temperatura pueden dar lugar a situaciones de inversión térmica, lo que dificulta la dispersión de la contaminación. Además, según la OMS (2000), a una mayor altitud, la presión parcial del oxígeno disminuye y en compensación la inhalación aumenta, lo que repercute en mayores volúmenes de inhalación dando lugar a la ingesta de un mayor número de partículas transmitidas por el aire.

2.2.9.3. La precipitación

Según Cortelo (2012) este fenómeno meteorológico, en cualquiera de sus formas, produce un efecto de lavado sobre la atmósfera al arrastrar parte de los contaminantes al suelo; además, las condiciones atmosféricas de bajas presiones que suelen acompañar a las distintas formas de precipitación, favorecen la dispersión de los contaminantes.

2.2.10. Retención de partículas sedimentables

Es indispensable conocer el mecanismo por el cual las partículas quedan retenidas en las hojas de las plantas. En referencia a esto Roberts (2000) menciona que, al correr un fluido alrededor de un objeto genera líneas de corriente divergentes que convergerán al lado opuesto, sin embargo, las partículas que fluyen alrededor de este objeto no seguirán estas líneas de corriente, sino mantendrán su propio curso debido a su inercia. Así, mientras que el fluido portador fluye alrededor de esos objetos, las partículas en el fluido presentarán colisiones y pueden ser recogidas por las hojas, este proceso es denominado "Intercepción".

Es así que las masas vegetales actúan como pantallas protectoras que retienen y fijan el polvo y microorganismos nocivos de la atmósfera baja, absorbiendo también gran cantidad de moléculas gaseosas, contribuyendo así a mejorar la calidad del aire. La cantidad de polvo recogida por una superficie foliar depende fundamentalmente de tres consideraciones: Características externas de las hojas, características de la inserción de la hoja y climatología. Esta función protectora y depuradora es muy considerable cuando se trata de vegetación arbórea, debido a que presenta una mayor superficie foliar, por ejemplo, las hojas de un árbol de tamaño medio pueden exceder de 100 m². En cuanto a la capacidad de retención del follaje, generalmente oscila entre 30 y 80 toneladas/ha, variando según el tipo de árbol o bosque y la densidad de la cubierta foliar, este polvo retenido temporalmente en las hojas, es posteriormente lavado por la lluvia o depositado sobre el suelo por la misma caída de las hojas, sin embargo, puede ser incorporado si existen vientos fuertes (Mariano, 2002).

2.2.10.1. Características de la hoja relacionadas a la retención de partículas

Existen características propias de la hoja que definen su capacidad de adsorción de partículas. Entre las características que incrementan esta capacidad están las excrescencias, pelos, exudaciones o relieve muy accidentado. Otro aspecto influyente es el porte de la planta puesto que en

ciertos casos los vegetales de escasa altura, como las herbáceas y arbustos, reciben mucha más cantidad de polvo. Otra característica importante de resaltar es la posición de las hojas ya que mientras más se aleje de la horizontal, menor será la superficie expuesta a la sedimentación horizontal del contaminante. También existen características particulares cuya interacción con el medio genera ciertas características favorables para la adhesión de PAS; por ejemplo, las especies con pecíolo delgado, largo y con hoja relativamente ancha, recogen las partículas en menor cantidad que las de hojas con pecíolo corto y grueso, pues el viento las mueve mejor y si el polvo no se ha adherido a la superficie foliar caerá a tierra (Mariano, 2002).

2.2.11. Pantallas, cortinas vegetales y sedimentación

Teniendo en cuenta que las áreas verdes cumplen una función depuradora al retener parte del material particulado del ambiente, resulta importante describir el efecto que tienen estas con respecto al desplazamiento del viento, ya que este es el principal medio dispersor de contaminantes. Esta información generalmente está en referencia a pantallas y cortinas vegetales que, según Mariano (2002), son alineaciones muy utilizadas en áreas con vientos persistentes para mejorar los rendimientos de los cultivos ya que ofrecen una protección contra los efectos mecánicos del viento debidos a su propia acción o a las partículas que transporta. Además, generan ciertas modificaciones de la velocidad de sedimentación de las partículas sólidas en suspensión ya que reduce la velocidad del viento, esto se ve influenciado por el tipo de seto, cortaviento, la permeabilidad de la cortina, la topografía de la zona o las condiciones meteorológicas.

2.2.12. Áreas verdes urbanas

Comprende espacios abiertos con césped, parques, bosques urbanos y periurbanos, jardines, plazas y áreas similares dotadas de características tales que puedan desempeñar diferentes funciones de asimilación en el ecosistema urbano y brindar satisfacciones directas e indirectas a la comunidad a partir de sus atributos físicos y estéticos.

2.2.12.1. Clasificación de áreas verdes urbanas

2.2.12.1.1. Parques

En la ciudad, el parque es el núcleo verde que se aproxima más a lo natural y presenta las siguientes clasificaciones:

- ❖ **Parques metropolitanos:** Grandes espacios dedicados a la recreación pública, activa o pasiva, generalmente apoyados en características paisajistas o de reservas eco lógicas, cuyas funciones y equipamiento se dirigen al servicio de la población de un área metropolitana.
- ❖ **Parques zonales:** Áreas importantes de recreación pública cuya función y equipamiento están destinados a servir a la población de algún sector de la ciudad con servicios de recreación activa y pasiva.
- ❖ **Parques locales:** Áreas libres de uso público fundamentalmente recreacional.
- ❖ **Plazas:** Áreas libres de uso público, para fines cívicos y recreacionales.
- ❖ **Plazuelas:** Pequeñas áreas libres de uso público, con fines de recreación pasiva.

2.2.12.1.2. Berma lateral

Son áreas verdes que se ubican a los lados de las principales arterias, en la parte delantera de las viviendas. En este tipo de áreas verdes, debe tenerse en cuenta, encontrar un punto medio entre árbol y arquitectura, así como entre árbol y calzada motorizada, seleccionándose los árboles más indicados (resistentes al polvo, viento, sol, etc., que no posean largas raíces que "rompan" aceras, calzada, tuberías y otras instalaciones del subsuelo).

2.2.12.1.3. Berma central

Son áreas ubicadas en la parte central de anchas avenidas con pistas para transporte motorizado. Existen zonas con variados céspedes jardines y arboledas.

2.2.12.1.4. Jardines en el interior de manzanas o patios privados

Son jardines que se encuentran en el interior de los edificios, casas o conjuntos habitacionales que permiten la entrada de la luz diurna y el aire en todas las residencias. Son de propiedad de los dueños de las casas o de la junta de propietarios.

2.2.12.1.5. Cinturones verdes y agrícolas

Son aquellas áreas verdes que rodean a las ciudades a manera de un cinturón agrícola o forestal alrededor de la población para que ésta no crezca de modo interminable. Este cinturón es el límite de la ciudad, a la que "cierra" definitivamente después de la zona agrícola. Este tipo de área verde es muy importante en lo que se refiere a la salud colectiva.

2.2.13. Funciones que cumplen las áreas verdes

2.2.13.1. Beneficios ambientales

- ❖ Protección contra los efectos del clima.
- ❖ Protección de áreas para captación de aguas.
- ❖ Control de inundaciones.
- ❖ Disminución de la contaminación del aire.
- ❖ Ahorro de energía.
- ❖ Amortiguador de la contaminación sonora.
- ❖ Control de la erosión y formación de hábitats.

2.2.13.2. Bienes materiales

- ❖ Alimentos y productos agrícolas.
- ❖ Productos madereros y forraje.

2.2.13.3. Otros beneficios

- ❖ Recreación.
- ❖ Educación y cultura

- ❖ Valor del predio y/o alrededores.
- ❖ Efectos psicológicos positivos y fuente de trabajo.

2.2.14. Gestión urbanística

Las ciudades en expansión requieren del desarrollo y mantenimiento de áreas verdes a fin de no solo proveer áreas de recreación a los habitantes del lugar, sino contribuir a captar los contaminantes sólidos sedimentables del aire mejorando la calidad del mismo y reduciendo el riesgo que representa para la salud humana.

Con respecto al ámbito local, el CONAM (2000), señala que Lima en general cuenta con 1,98 m² de área verde por habitante, mientras Buenos Aires tiene 2 m² y Bogotá 2,9 m², además según datos del INEI para el año 2008, existen distritos como San Juan de Lurigancho que siendo el distrito más poblado de Lima cuenta con 0,3 m² de área verde/habitante muy inferior al límite establecido por la OMS que es 8 m²/hab.

Los países planifican el sector urbanístico teniendo en cuenta el factor medioambiental de forma determinante en los nuevos desarrollos e implantaciones industriales y urbanas. En las zonas industriales y urbanas antiguas, el planeamiento tiende a reducir los efectos de la contaminación atmosférica buscando espacios amplios, tanto en las vías públicas como en la creación de nuevas plazas y parques urbanos.

Para estos países las áreas verdes son muy importantes en lo que se refiere a la contaminación atmosférica, pues su implantación y ampliación supone una mejora sustancial del medio ya que evitan fuentes de emisión en el territorio que ocupan, favorecen la difusión de los contaminantes, depuran la atmósfera al captar muchas más partículas sedimentables que una superficie desnuda, captan y asimilan algunos contaminantes evitando que entren a las vías respiratorias del hombre (Mariano, 2002).

2.2.15. Características generales de *Cytisus*

2.2.15. 1. Descripción taxonómica:

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Fabales
Familia: Fabaceae
Subfamilia: Faboideae
Tribu: Genisteae
Género: *Cytisus*
Especie: ***Cytisus canariensis***

2.2.15. 2. Descripción

Es una especie de *Cytisus* conocida por el nombre común de escoba canaria o escoba de las Islas Canarias, es nativa de esta isla, pero crece como una especie introducida en Europa continental, especialmente en España también fue adoptada en otros continentes por ejemplo en el americano en la ciudad de California y Washington ubicada en EE.UU.

Esta es una leguminosa arbustiva con tallos verdes peludos. Las hojas se componen de folíolos en forma de óvalos de hasta un centímetro de largo y densamente pilosas en el envés. La inflorescencia en forma de racimo tiene hasta 20 brillantes flores amarillas. El fruto es una vaina leguminosa uno a dos centímetros de largo que contiene varias semillas de color marrón oscuro. Pertenece al grupo de especies cuyas flores tienen un pétalo estandarte pubescente hacia el ápice. Las ramas, hojas y cáliz son sedosos y los folíolos de las hojas, obovados y no intrincados. Las legumbres poseen pelos cortos.



Figura 6. ***Cytisus canariensis***

Fuente: <https://www.google.com.pe/search?q=cytismus+canariensis&source>

2.2.15.3. Detalles del cultivo

Estas plantas pueden ser plantada en borde, contenedor y en tierra, se desarrolla en la mayoría de los suelos, pero prefiriere un suelo bueno sin embargo no rico, se desarrolla mejor en un suelo pobre y bien drenado, el suelo debe ser ligeramente ácidos, neutros y limosos, pero no le gusta los suelos poco profundos sobre yeso.

Las plantas se calcifican fuertemente de acuerdo a otros informes es intolerante a un pH mucho más arriba de 6,5 se sugiere plantar en una posición soleada, pero tolera un poco de sombra, las plantas tienen éxito en condiciones expuestas, y son muy tolerantes a la exposición marítima.

2.2.15.4. Plantación semilla

La semilla de *Cytisus* es mejor sembrarla tan pronto como está madura en el otoño en un marco frío, debe re-empapar las semillas almacenadas durante 24 horas en agua tibia luego estratificar en frío durante un mes y sembrar en un cerco frío, la semilla generalmente germina en cuatro semanas a 20 °C. Las plantas deben ser colocadas en macetas tan pronto como sea posible, ya que las plantas se vuelven rápidamente intolerantes a las alteraciones radiculares.

2.2.15.4. Usos de la *Cytisus*

Algunas plantas de *Cytisus* además de su uso ornamental también son usadas de forma medicinal y hasta alimenticia todo depende de la especie conozcamos un poco sobre estas características en la planta de este género

2.2.16. Características generales de *malva*

2.2.16.1. Descripción taxonómica:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Malvales

Familia: Malvaceae

Género: *Malva*

Especie: ***Malva sylvestris***

2.2.16.2. Descripción

Planta bienal o perenne, con tallos erectos o ascendentes, que alcanzan los 150 cm de altura y ligeramente pilosos.

Las hojas basales, de 5 - 10 cm, son suborbiculares o cordiformes, con entre 3 y 7 lóbulos no muy marcados, crenadas o serradas y con un largo peciolo; las hojas caulinares tienen entre 5 y 7 lóbulos más marcados.

Las flores aparecen en fascículos axilares de 2 - 8 flores, raramente solitarias; miden 2 - 6 cm de diámetro y su pedúnculo es de longitud variable.

El epicáliz, que rodea al cáliz y se inserta en su base, está formado por 3 piezas de 2 a 7 mm elípticas u oblongo - ovadas; los sépalos, 5 y más o menos soldados, de 3 a 9 mm, son triangular ovados o anchamente triangulares; son conniventes y no acrescentes en la fructificación.

Los 5 pétalos, 15 - 30 x 8 - 12 mm, son ovovados, con la base cuneada, emarginados o bífidos, de color púrpura con los nervios oscuros y al secarse se tornan azulados.

Los estambres, numerosos, tienen los filamentos soldados formando un tubo por cuyo interior pasa el estilo.

El fruto es un conjunto de mericarpios que se disponen formando una especie de disco con el dorso aplanado.



Figura 7. *Malva sylvestris*

Fuente: <http://www.cepvi.com/medicina/plantas/malva.shtml>

2.2.16.2.1. Hábitat y ecología de *Malva sylvestris*

Vive en bordes de caminos, cultivos abandonados, en zonas generalmente nitrificadas, en zonas abiertas y bien iluminadas en suelos de pH generalmente neutros. Desde el nivel del mar a los 1500 m.

2.2.16.2. 2. Comportamiento fitosociológico

- ❖ Clase ***Artemisietea vulgaris***, comunidades de cobertura y porte elevados dominadas por hemicritófitos, geófitos y plantas bienales arrosetas que son propias de suelos ricos en sustancias nitrogenadas, profundos y más o menos húmedos. Convive con otras plantas entre las que se encuentran ***Artemisia absinthium*, *Cirsium vulgare*, *Malva sylvestris*, *Rumex conglomeratus*, *Rumex pulcher*, *Silybium marianum*, *Urtica dioica* y *Verbena officinalis***.

- ❖ Orden ***Sisymbrietalia officinalis*** (Clase *Ruderali* - *Secalietea*), comunidades ***ruderales subnitrófilas*** de fenología vernal o estival en la que son características ***Ammi majus*, *Bromus rigidus*, *Bromus sterilis*, *Diploaxis erucoides*, *Galactites tomentosa*, *Hirsfeldia incana*, *Hordeum murinum*, *Sisymbrium officinale* y *Torilis maximum***.

2.2.16.2. 3. Requerimientos ecológicos

- ❖ **Luz:** Crece a plena luz, aunque soporta sombra.
- ❖ **Temperatura:** Calor, piso colino principalmente.
- ❖ **Continentalidad:** Intermedia.
- ❖ **Humedad:** Suelos secos; indicadora de sequedad moderada.
- ❖ **Acidez:** Suelos ricos en bases; pH 5,5 - 8; indicadora de alcalinidad.
- ❖ **Nitrógeno:** Principalmente suelos ricos; indicadora de riqueza de nutrientes

2.2.17. Microwave reaction system

Proporciona máximo rendimiento de digestión por microondas, incluso para muestras altamente heterogéneas y difíciles. Las propiedades técnicas únicas del sistema garantizan un funcionamiento seguro y económico.



Figura 8. Microwave Reaction System

Fuente: <https://www.anton-paar.com/mx-es/productos/detalles/rotor-8nxq80>

2.2.17.1. Características de clave

- ❖ La medición de presión activa y la regulación de presión de los ocho recipientes de las muestras en simultáneo permite mantener todos los procesos reactivos bajo control.
- ❖ El método de enfriamiento patentado evita el sobrecalentamiento y garantiza un rendimiento alto de la muestra gracias a tiempos de enfriamiento rápidos
- ❖ Cuenta con dos métodos de medición de temperatura: Una sonda de temperatura sumergible (opcional) dentro de un recipiente de referencia y una medición continua de infrarrojos de todos los recipientes de la muestra
- ❖ Recipientes de cuarzo sellados herméticamente con una estabilidad de temperaturas altas de hasta 300 °C que perdura en el largo plazo.

2.2.17.2. Sonda en T

La sonda en T es un sensor sumergido para una medición exacta de la temperatura y el control de la temperatura dentro del recipiente de reacción del rotor.

Características

- ❖ Termómetro de gas para una medición precisa y sin interferencias de las temperaturas de reacción hasta 300 °C
- ❖ Tubo de zafiro resistente para utilizar con todo tipo de reactivos (salvo soluciones alcalinas)
- ❖ Manejo sencillo: No requiere conexión de cables ni de dispositivos electrónicos
- ❖ Los datos obtenidos se transfieren al horno a través de la señal infrarroja.
- ❖ Fácil de calibrar, con una herramienta de calibración opcional sustentada por software



Figura 9. Microwave Reaction System

Fuente: <https://www.anton-paar.com/mx-es/productos/detalles/rotor-8nxq80>

2.2.18. Espectroscopia de plasma ICP-OES

2.2.18.1. Principios de la técnica

El plasma de acoplamiento inductivo (ICP) es una fuente de ionización que junto a un espectrofotómetro de emisión óptico (OES) constituye el equipo de ICP-OES.

En esta técnica, la introducción continua de la muestra líquida y un sistema de nebulización forma un aerosol que es transportado por el argón a la antorcha del plasma, acoplado inductivamente por radio frecuencia. En el plasma, debido las altas temperaturas generadas, los analitos son atomizados e ionizados generándose los espectros de emisión atómicos de líneas características. Los espectros son dispersados por la red de difracción y el detector sensible a la luz se encarga de medir las intensidades de las líneas. La información es procesada por el sistema informático.

2.2.18.2. Componentes del espectrómetro de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP OES)

El espectrómetro de emisión óptica por plasma inducido consta de cuatro componentes principales:

- ❖ Sistema de introducción de muestras (bomba peristáltica, cámara de nebulización, nebulizador)
- ❖ Fuente de emisión del ICP (plasma y generador de radiofrecuencia) sistema óptico (Policromador)
- ❖ Detector y sistema de lectura

Una bomba peristáltica introduce la muestra líquida hacia el nebulizador, el cual genera un aerosol suspendido en argón. Este aerosol es transportado por una corriente de argón hacia el plasma para su desolvatación, vaporización, atomización y/o ionización y excitación de los analitos presentes en la muestra. Los átomos e iones excitados emiten radiaciones características, las cuales son dirigidas hacia el sistema óptico para su separación de acuerdo a sus longitudes de onda.

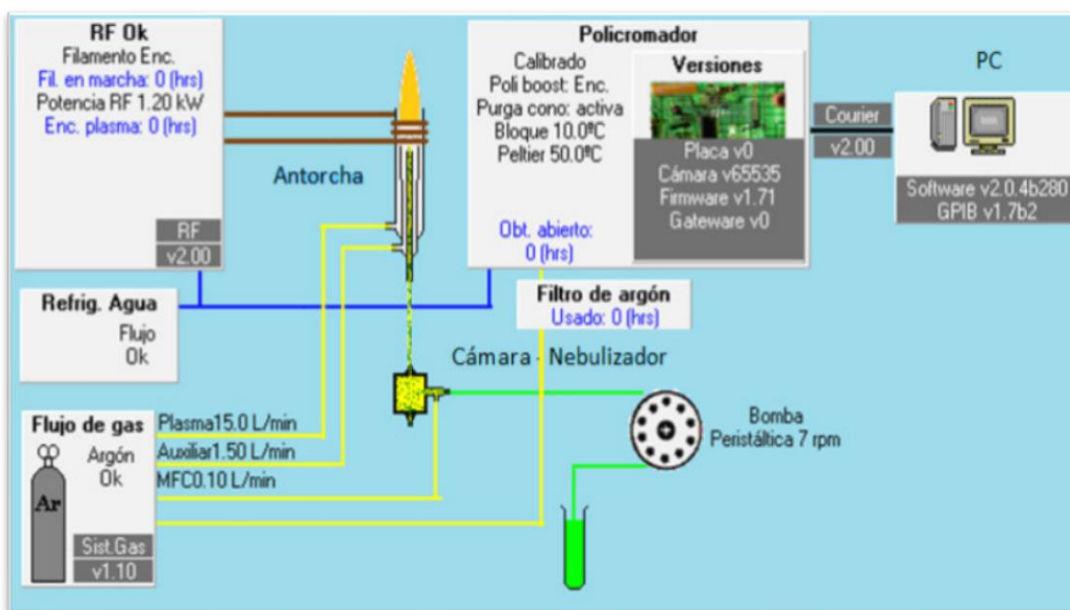


Figura 10. Componentes del espectrómetro de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP OES)

Fuente: Componentes principales del ICP OES (Tomado del Software ICP Expert II de Agilent Technologies).

2.2.18.3. Sistema de introducción de muestras

La forma más común de transportar las muestras líquidas hasta el plasma es en forma de aerosol, el cual es generado por un nebulizador; sin embargo, también es posible el análisis directo de muestras sólidas y de gases. Las 18 técnicas de generación de hidruros y vapor frío también son aplicadas a la espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente.

Cuando el aerosol de la muestra ingresa al canal central del plasma experimentará los procesos de desolvatación, volatilización y atomización a una temperatura entre 6 000 – 7 000 °C por un período de pocos milisegundos.

La desolvatación es la evaporación del solvente de las gotas, obteniendo una suspensión de aerosol seco, es decir partículas desolvatadas. Durante el proceso de evaporación, las gotitas y partículas secas están rodeadas de una nube de vapor del solvente. Cuando el solvente se evapora, éste se encuentra cerca a su punto de ebullición, el cual se encuentra muy por debajo de la temperatura del plasma.

En la volatilización se produce la conversión del aerosol seco en un gas o un vapor. Las partículas del soluto tienen un amplio rango de puntos de ebullición, estos valores son comparables con las temperaturas alcanzadas dentro del plasma. La atomización es la conversión de los analitos volatilizados en átomos en estado basal.

Una vez obtenidos los átomos en estado basal, se produce una ionización parcial; luego, estos átomos e iones son excitados. El periodo de tiempo para los tres primeros procesos está en el orden de milisegundos, mientras que los procesos de excitación e ionización son mucho más rápidos

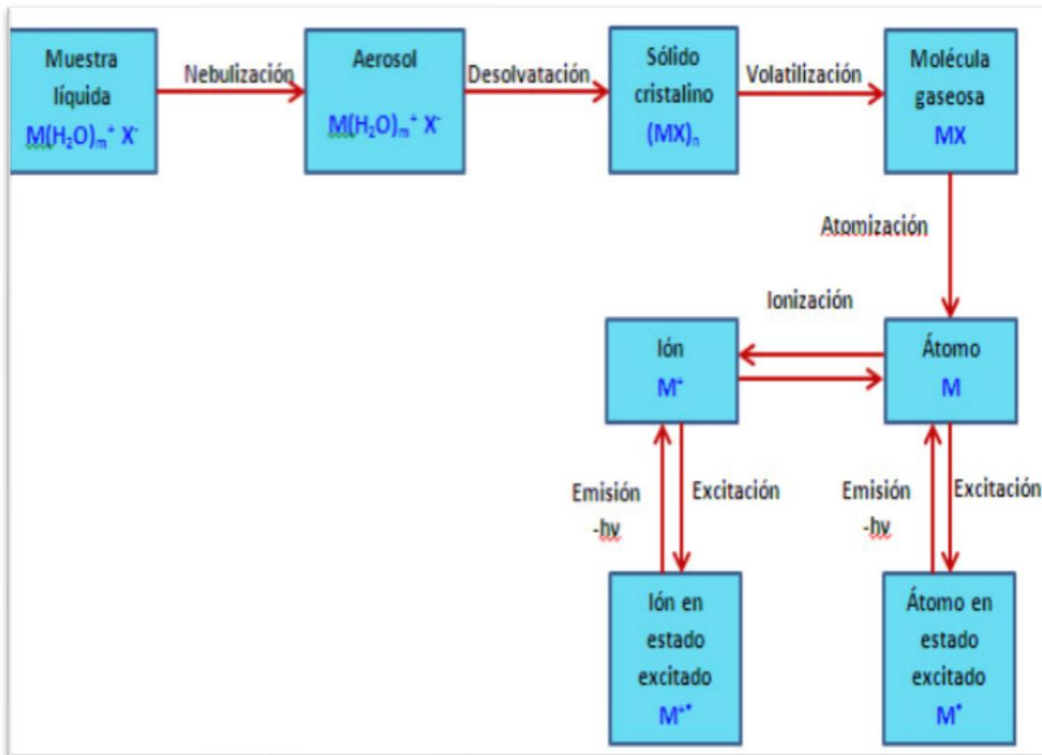


Figura 11. Sistema de introducción de muestras

Fuente: Componentes principales del ICP OES (Tomado del Software ICP Expert II de Agilent Technologies).

La cantidad de disolvente en el aerosol y el número de gotas grandes que no son desolvatadas completamente por plasma, pueden afectar la excitación e ionización.

Los efectos de la desolvatación y atomización del analito durante la emisión óptica son mostrados; en esta Figura 8, el inicio de la desolvatación puede ser tomado desde el inicio de la intensidad del hidrógeno. A medida que la gota está ingresando a la zona del plasma, ésta zona es enfriada por los procesos de desolvatación, disociación de las moléculas del agua, y por la excitación e ionización de sus productos (átomos de hidrógeno y oxígeno), en estas condiciones (flujo de gas de transporte: 0,18 l/min) el tiempo de desolvatación fue aproximadamente 2 min. La disminución de la intensidad de emisión de la línea de Ar se debe al enfriamiento de la zona del plasma donde ocurre la desolvatación, disociación, excitación e ionización

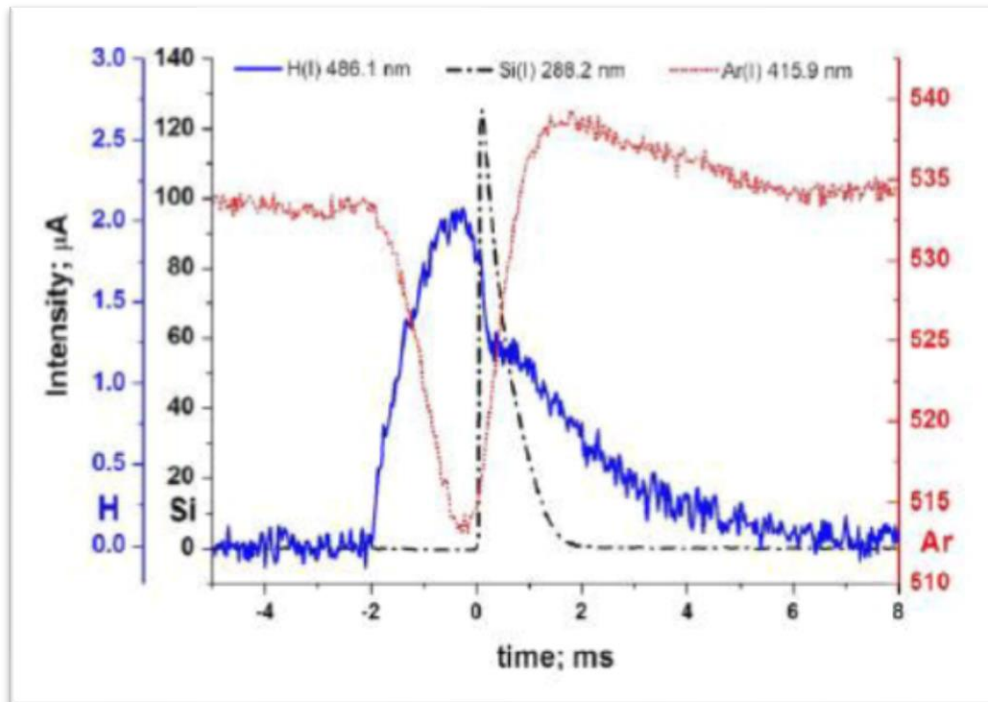


Figura 12. Efectos de la desolvatación y atomización del analito durante la emisión óptica

Fuente: Componentes principales del ICP OES (Tomado del Software ICP Expert II de Agilent Technologies).

2.2.19. Estufa

La estufa es para realizar ensayos de materiales, someter chips de ordenadores a procesos de envejecimiento o para ejecutar complejas series de experimentos con cargas muy sensibles, someter componentes electrónicos a un proceso de secado o regular su temperatura, endurecer resinas sintéticas o calentar plastilina, la estufa de calentamiento de secado o de memmert lleva a cabo un proceso de regulación de la temperatura con unos niveles de precisión, uniformidad y delicadeza incomparables.

2.2.19.1. Ventajas de estufa

- ❖ Uso sencillo e intuitivo.
- ❖ Tasas de cambio de aire y posición de trampilla de extracción de aire regulables electrónicamente.

- ❖ Rampas para temperatura y cambio de aire programables mediante el software.
- ❖ El suministro de aire limpio precalentado evita las fluctuaciones de temperatura
- ❖ Uso casi exclusivo de acero inoxidable de alta calidad, resistente a la oxidación y fácil de limpiar para el interior y la carcasa exterior.
- ❖ Regulación térmica precisa y homogénea gracias a un concepto de calentamiento adaptado al producto.

2.2.20. Balanza analítica

Una balanza analítica es una clase de balanza de laboratorio diseñada para medir pequeñas masas, en un principio de un rango menor del miligramo y que hoy día, las digitales, llegan hasta la diezmilésima de gramo: [0,0001 g o 0,1 mg]. Los platillos de medición de una balanza analítica están dentro de una caja transparente provista de puertas para que no se acumule el polvo y para evitar que cualquier corriente de aire en la habitación afecte al funcionamiento de la balanza.

La balanza analítica electrónica mide la fuerza necesaria para contrarrestar la masa que está siendo medida en lugar de utilizar masas reales. Por ello deben tener los ajustes de calibración necesarios realizados para compensar las diferencias gravitacionales. Utilizan un electroimán para generar la fuerza que contrarreste la muestra a medir y da el resultado midiendo la fuerza necesaria para equilibrar la balanza. Tal dispositivo de medición se denomina sensor de restauración de fuerza electromagnética.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Definición de material particulado

Se tiene como definición que las partículas sólidas como líquidas que se encuentran suspendidas en el aire. La fuente de estas partículas puede ser tanto de origen antropogénica o de fuentes naturales, y pueden ser directamente

emitidas por la fuente de contaminación. Estas partículas sólidas o líquidas se pueden encontrar en un amplio rango de tamaños donde las partículas con un diámetro aerodinámico menor a 10 μm (PM_{10}) tienen un papel importante en la salud, pues estas pueden ser inhaladas y acumularse en el sistema respiratorio (Chen, Ying, & Kleeman, 2009)

2.3.2. Composición de material particulado en la ciudad de Puno

Quispe (2015). Define que el material particulado en la ciudad de Puno tiene la composición de elementos: Arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc.

2.3.3. Radiación solar

Se refiere a la energía solar que llega a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas; se puede medir en Joules o Watts/m².

2.3.4. Actividad antrópica

Definición cualquier acción o intervención que el ser humano implementa sobre la faz de la tierra. Algunos ejemplos son: La agricultura, la deforestación, la pesca y las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

2.3.5. Dirección del viento

Por lo general, se mide en grados ($^{\circ}$), minutos ($'$) y segundos ($''$), y el marco de referencia con respecto al cual se realizan estas mediciones es la rosa de vientos. La dirección del viento indica de dónde viene el viento (de dónde sopla).

2.3.6. Velocidad de viento

Günter D. Roth (2003). Define como la compensación de las diferencias de presión atmosférica entre dos puntos.

2.3.7. Áreas verdes urbanas

Se define el área verde a toda superficie de dominio público o privado, incluida o relacionada íntimamente con el área urbana y que está destinada a ser ocupada por diferentes formas vegetales, constituyendo un ámbito propicio para la generación de las influencias benéficas al habitante urbano.

2.3.8. Adsorción

La adsorción es un proceso físico o químico por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material. Se puede decir además, que la adsorción es un fenómeno superficial, ya que, la sustancia adsorbida no se introduce en el volumen del cuerpo, sino solo se adhiere a la superficie del mismo. Por lo que, en este proceso existe una verdadera fuerza de atracción que hace que una partícula se adhiera a otra partícula de otro material.

2.3.9. Absorción

La absorción es un proceso físico o químico en el cual átomos, moléculas o iones pasan de una primera fase a otra, incorporándose al volumen de la segunda fase. La absorción puede ser un proceso químico o físico según exista o no reacción química:

- ❖ Como proceso químico, la absorción es un proceso que separa los componentes de un gas a partir de la inclusión de un solvente en estado líquido, con el que crea una solución.
- ❖ Como proceso físico, la absorción es una disminución en la intensidad de la radiación que atraviesa un cuerpo, es decir, es aquel proceso de transferencia de energía de las ondas electromagnéticas o sonoras a un medio cuando lo atraviesan o inciden en él.

2.3.10. La caducidad de las hojas

Las plantas cuyo ciclo de vida es superior a un año pueden mantener sus hojas a lo largo del invierno, mantenerlas parcialmente o desprenderse

de ellas. Teniendo en cuenta esta característica, podemos distinguir varios tipos de hojas.

2.3.10.1. Hojas caducas

Las hojas caducas son aquellas que se caen al llegar una determinada estación (generalmente otoño, aunque también puede ocurrir en épocas de falta de agua). A estas plantas que pierden las hojas se les denomina caducifolias o deciduas.

3.3.10.2. Hojas marcescentes

Las hojas marcescentes son un tipo de hoja caduca con algunas características especiales. En estas plantas en vez de perder la hoja una vez se reabsorben los nutrientes las hojas secas quedan en la rama. Suelen desprenderse por el crecimiento de las nuevas yemas que formaran las nuevas hojas a finales del invierno o principios de primavera (el nombre de marcescente proviene de marzo).

2.3.10.3. Hojas semicaducas

Las hojas semicaducas son aquellas que se desprenden de las hojas dependiendo de la dureza de la estación desfavorable.

2.3.10.4. Hojas persistentes

Las plantas persistentes o perennes son aquellas que no pierden las hojas a lo largo del año. Son plantas que se mantienen siempreverdes durante todo las estaciones del año. Sus hojas se van cambiando paulatinamente a lo largo de todo el año de forma que está en constante renovación. Son hojas cuya duración es en torno a dos años o más.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo metodológica de la presente investigación se adaptó a un trabajo de investigación titulado: “Determinación de la capacidad de adsorción de material particulado en el aire de 3 especies arbóreas en 2 avenidas principales en el distrito de Cercado de Lima”, cuyos autores fueron: Alegre, V.; Mejia, M.; Vasquez, E. y Espinoza, C.

3.1. Tipo y diseño de la investigación

- ❖ Descriptivo: Porque en el presente trabajo de investigación no se realiza la manipulación de variables.
- ❖ Transversal: Porque la toma de muestras se llevó una sola vez por un periodo de tiempo de 30 días.
- ❖ Exploratorio: La investigación nos hace conocer las variaciones de los niveles de material particulado sedimentable en las hojas de dos especies ornamentales.
- ❖ De campo: La concentración de material particulado se investigó en los diferentes puntos de la ciudad de Puno.
- ❖ Diseño de la investigación: Se aplicó el diseño completamente aleatorizado, tabla de Análisis de Varianza (ANOVA), prueba de Tukey y correlación de Pearson

3.2. Población y muestra

La presente investigación se realizó en la ciudad de Puno, distrito de Puno, con ubicación geográfica de latitud sur: 15°50'15" y latitud oeste: 70°01'18", altitud: 3812 m s.n.m. La selección de población de las especies ornamentales y muestra se realizaron mediante un muestreo aleatorio simple, en 6 puntos de evaluación como se muestra en siguiente Tabla 4:

Tabla 4*Ubicación de puntos de muestreo*

N°	Punto de evaluación	Coordenadas y altitud		
		Este (X)	Norte (Y)	Altitud (Z)
1	Av. Floral	390973,0000	8249708.0000	3828
2	Huáscar	389679,0000	8249987.0000	3882
3	Ovalo Ramón Castilla	390560,0000	8248519.0000	3824
4	Puente Bellavista	390925,0000	8247283.0000	2825
5	Circunvalación sur	391464,0000	8246879.0000	3838
6	Salcedo	393102,0000	8244903.0000	3827

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cada punto las dos especies de ***Cytisus canariensis***, ***Malva sylvestris***, se tomaron un total de 12 muestras para el análisis de material particulado.

3.2.1. Determinación de la composición del material particulado adsorbido

3.2.1.1. Toma de muestras en campo

Una vez identificado los especies de ***Cytisus canariensis***, ***Malva sylvestris*** en la ciudad de Puno, se procedió a realizar la actividad de lavado de hojas identificadas y después se procedió a tomar muestras en un mes, teniendo 30 días calendarios (noviembre, 2018) en los seis puntos de evaluación.

3.2.1.2. Etapa del laboratorio

Los ensayos se realizaron en el Megalaboratorio Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano, haciendo en dos ensayos:

- ❖ El material particulado interceptado por las hojas se caracterizó en función a tres parámetros: Sólidos suspendidos disueltos, sulfatos y sólidos suspendidos totales son empleados por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 14th edition -1975 -20th edition -2005 APHA-AWWA—WPCF, validados los resultados con las NTP. ECA.
- ❖ El análisis de metales: Aluminio, arsénico, bario, cadmio, cobalto, cobre, plomo, manganeso, molibdeno, potasio, selenio, estroncio y zinc se realizó con el equipo de espectroscopia de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)

3.2.1.3. Determinación de área foliar

Para determinar el área de superficie foliar de especies de ***Cytisus canariensis***, ***Malva sylvestris*** se usó el **software ImageJ** de procesamiento digital del imagen público, donde se realizó el escaneado de hojas de ambas especies incluyendo una referencia (regla). Este procedimiento se realizó para todas las hojas seleccionadas de las trampas y puestas en observación luego de haber lavado las hojas de los arbustos seleccionados para determinar la cantidad de partículas sedimentables captadas.

3.2.1.4. Tiempo de permanencia de las hojas

- ❖ Se marcaron 6 hojas en brote por especie y por punto de muestro, teniendo un total de 72 brotes marcados en total de muestras de las especies de ***Cytisus canariensis***, ***Malva sylvestris***.
- ❖ Se realizó seguimiento a partir de la primera semana de marcadas, luego se acortó el tiempo o periodo de verificaciones hasta llegar a un procedimiento más continuo donde consiste en observar, si la hoja marcada ya se había desprendido de la especie ornamental.

3.2.1.5. Número total de hojas por arbusto

Para la determinación de cantidad de hojas por especie, se tomaron 6 ramas distintas por cada especie, posteriormente se realizó el conteo de hojas de cada rama, solo se considera los que superan el promedio el área foliar obtenido en *Cytisus canariensis* (2,35 cm²) y *Malva sylvestris* (34,72 cm²)

Teniendo el número de hojas por una longitud de 0,50 cm de rama, se procedió a contar el número de ramas por cada especie y posteriormente se multiplico con la cantidad de ramas y por cantidad de hojas en los 6 puntos de evaluación.

3.3. Operacionalización de variables

Variables	Definición	Unidad de medida	Método
Aluminio	Elemento químico metálico, de símbolo Al, número atómico 13, peso atómico 26,9815, que pertenece al grupo IIIA del sistema periódico. Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de alúmino silicato	µg/m ³	Análisis de laboratorio
Arsénico	Elemento químico, cuyo símbolo es As y su número atómico 33 se encuentra natural como mineral de cobalto, aunque por lo general está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn.	µg/m ³	Análisis de laboratorio
Bario	Elemento químico, símbolo Ba, con número atómico 56 y peso atómico de 137,34. Se encuentra en un 0,04%, valor intermedio entre el calcio y el estroncio, los otros metales alcalinotérreos.	µg/m ³	Análisis de laboratorio
Cadmio	Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; tiene relación estrecha con el zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado.	µg/m ³	Análisis de laboratorio
Cobalto	Elemento químico metálico, símbolo Co, con número atómico de 27 y un peso atómico de 58,93. Se encuentra distribuido con amplitud en la naturaleza y forma, aproximadamente, el 0,001 % del total de las rocas ígneas de la corteza terrestre, en comparación con el 0,02 % del níquel.	µg/m ³	Análisis de laboratorio

Cobre	Elemento químico, de símbolo Cu, con número atómico 29; uno de los metales de transición e importante metal no ferroso.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Análisis de laboratorio
Plomo (Pb)	Es un metal de color gris azulado tóxico que se acumula en el sistema nervioso central y es particularmente perjudicial en el desarrollo mental de los niños. Entra al organismo por inhalación e ingestión, por lo que llega al sistema circulatorio a través de los pulmones y el tracto digestivo, y se excreta por las vías urinarias.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Análisis de laboratorio
Manganeso	Elemento químico, símbolo Mn, de número atómico 25 y peso atómico 54,938. Es un metal bastante reactivo. Aunque el metal sólido reacciona lentamente, el polvo metálico reacciona con facilidad y en algunos casos, muy vigorosamente	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Análisis de laboratorio
Molibdeno	Elemento químico, símbolo Mo, con número atómico 42 y peso atómico 95,94; es uno de los elementos de transición	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Análisis de laboratorio
Potasio	Elemento químico de número atómico 19, masa atómica 39,102 y símbolo K; es un metal alcalino plateado, blando y ligero, que se oxida fácilmente y produce llama en contacto con el agua; se encuentra en grandes cantidades en la naturaleza en algunos minerales y en el tejido vegetal y animal	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Análisis de laboratorio
Selenio	Elemento químico, símbolo Se, número atómico 34 y peso atómico 78,96. Distribuido en la corteza terrestre, encontrándose en forma de seleniuros de elementos pesados.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Análisis de laboratorio
Estroncio	Elemento químico, símbolo Sr, de número atómico 38 y peso atómico 87,62. El estroncio es el menos abundante de los metales alcalinotérreos. La corteza de la Tierra contiene el 0,042 % de estroncio, y este elemento es tan abundante como el cloro y el azufre.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Análisis de laboratorio
Zinc	El zinc es un metal, a veces clasificado como metal de transición aunque estrictamente no lo sea, ya que tanto el metal como su ion positivo presentan el conjunto orbital completo. Este elemento presenta cierto parecido con el magnesio, y con el cadmio de su grupo, pero del mercurio se aparta mucho por las singulares propiedades físicas y químicas de este.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Análisis de laboratorio
Sulfatos (SO ₄)	Son iones, que se formaron a partir de bióxidos de azufre emitidos por las pollerías que usan carbón que se ubicaban en áreas urbanas de Puno.	mg/L	Análisis de laboratorio

Sólidos suspendidos totales (SST)	Son pequeñas partículas sólidas o líquidas que flotan en el aire. Estas partículas pueden estar hechas de diferentes sustancias, entre ellas carbón, azufre, nitrógeno y compuestos metálicos.	mg/L	Análisis de laboratorio
Variable de interés	Definición	Unidad de medida	Método
Adsorción del material particulado	Las especies ornamentales a través de hojas adsorben los contaminantes de material particulado.	µg/m ³	Estimación en volumen de adsorción por especie

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.4.1. Materiales y/o instrumentos

3.4.1.1. Equipos

- ❖ Refrigerador.
- ❖ Extractor de gases.
- ❖ Microwave Reaction System (para homogenizar muestras).
- ❖ ICP-OES.
- ❖ EASY pure II (bidestilador).
- ❖ Memmert (desecador).
- ❖ Balanza analítica.
- ❖ Computadora.
- ❖ Impresora.

3.4.1.2. Materiales de laboratorio

- ❖ Frascos de vidrio de 250 ml.
- ❖ Papel de filtro.
- ❖ Agua bidestilada.
- ❖ Baguetas.
- ❖ Filtro de fibra de vidrio.
- ❖ Fiola.
- ❖ Frascos de polietileno y vidrio.
- ❖ Matraz Kitasato.
- ❖ Piceta.
- ❖ Pinza.
- ❖ Pipeta volumétrica de 50 ml.
- ❖ Probetas.

3.4.1.3. Otros materiales de campo

- ❖ Alambre inoxidable # 14.
- ❖ Malla rachel de 60 % de sombra.
- ❖ Cúter.
- ❖ Alicates.
- ❖ Estiquer de muestras.
- ❖ Rafia.
- ❖ Tijeras.
- ❖ Cinta aislante.
- ❖ Tijera de podar.
- ❖ Wincha de 5 metros.
- ❖ Tinta indeleble azul.
- ❖ Cuaderno de campo.
- ❖ CD.

CAPÍTULO IV

MARCO FILOSÓFICO

El proyecto está basado en contribuir a mejora del plan de gestión ambiental de áreas verdes de la ciudad de Puno con la finalidad de tener calidad del aire a través de las plantas de cytissus y malva porque estas plantas cumplen la función de adsorción de contaminantes como material particulado y polvo atmosférico sedimentable del aire. Debo mencionar que las características que incrementan la capacidad de adsorción están las excrecencias, pelos, exudaciones, porte de la planta puesto que en ciertos casos los vegetales de escasa altura, como las herbáceas y arbustos, reciben mucha más cantidad de polvo, la posición de las hojas y etc. Sin embargo, el presente trabajo contribuyera en la mitigación de contaminación del aire a través de especies adoptadas a las condiciones altiplánicas y también en el marco legal contempla en el artículo 2 inciso 22 de la Constitución Política del Perú que 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, el Artículo 67° señala que el estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales, de este modo podemos decir que garantizaremos la implementación adecuada de gestión de áreas verdes con fines de mitigación de la contaminación del aire para mejorar la calidad de vida de los habitantes y el impacto ambiental del territorio.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. Análisis estadístico

Tabla 5

Análisis de varianza de adsorción de material particulado

		Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Sig.
Adsorción de Material Particulado * Especie	Entre (Combinado) grupos	45132,247	1	45132,247	5,649	0,039
	Dentro de grupos	79900,494	10	7990,049		
Ornamental	Total	125032,742	11			

Fuente: Elaboración propia

$$CV = 106,6143 / 457,605 * 100 = 23,30 \%$$

Interpretación

De acuerdo al Tabla 5, ANOVA, la adsorción del material particulado de *Cytisus canariensis* y *Malva sylvestris*, el valor estadístico de contraste de igualdad de medias, **F = 5,649** deja a su derecha un **p-valor** de **0,039**, menor que el nivel de significación del **5 %**, por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis planteada de igualdad de medias. Es decir, existen diferencias significativas en la adsorción de material particulado entre los 30 días del mes. De la misma forma el coeficiente de variabilidad es igual a 23,30 % lo cual nos indica la variabilidad de adsorción en ambas especies.

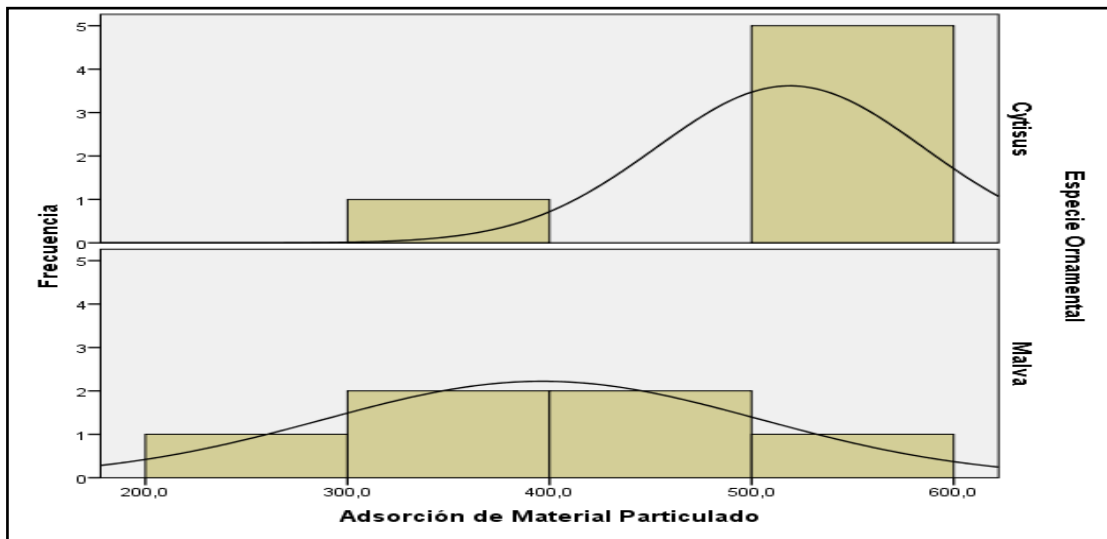


Figura 13. Histograma de adsorción de material particulado

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Se puede observar en Figura 13, las desviaciones de la normalidad, éstas no implican necesariamente la ausencia de normalidad del adsorción del material particulado en especie de *Cytisus canariensis* es muy irregular mientras en *Malva sylvestris* es moderadamente constante la adsorción.

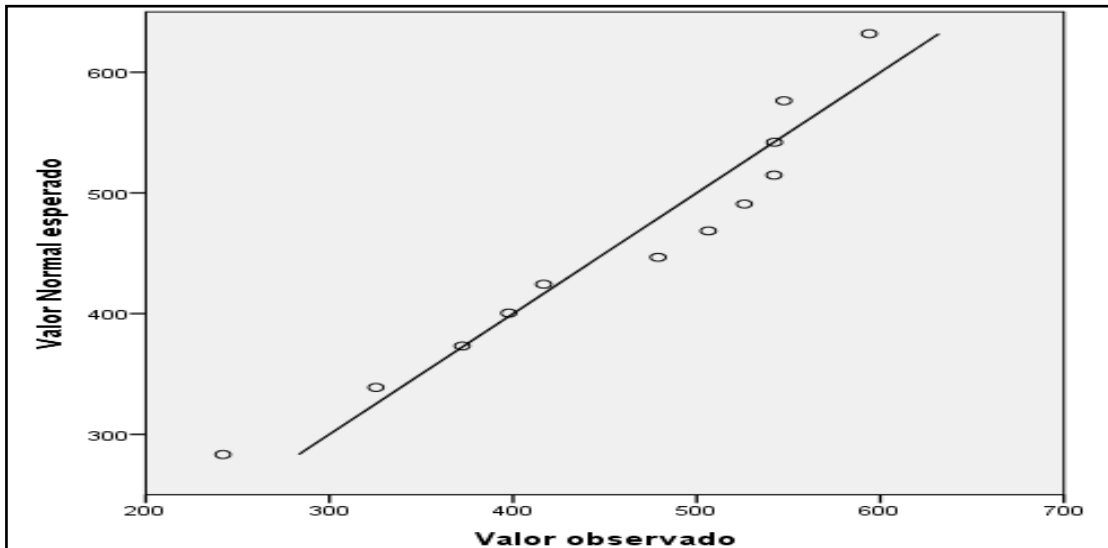


Figura 14. Q-Q normal de adsorción de material particulado

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Se puede apreciar en Figura 14, los puntos aparecen próximos a la línea diagonal y nos muestra una desviación marcada de la normalidad de adsorción de material particulado en especies de *Cytisus canariensis* y *Malva sylvestris* en la ciudad de Puno.

Tabla 6*Prueba de Tukey de variable dependiente material particulado*

(I) Cantidad de muestras	(J) Cantidad de muestras	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95 % de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
1,0	2,0	-87,6667	106,7930	0,953	-512,687	337,353
	3,0	-100,0000	106,7930	0,923	-525,020	325,020
	4,0	-206,6667	106,7930	0,043	-631,687	218,353
	5,0	-149,0556	106,7930	0,030	-574,076	275,964
	6,0	-33,2407	106,7930	0,999	-458,261	391,779
2,0	1,0	87,6667	106,7930	0,953	-337,353	512,687
	3,0	-12,3333	106,7930	1,000	-437,353	412,687
	4,0	-119,0000	106,7930	0,040	-544,020	306,020
	5,0	-61,3889	106,7930	0,989	-486,409	363,631
	6,0	54,4259	106,7930	0,994	-370,594	479,446
3,0	1,0	100,0000	106,7930	0,923	-325,020	525,020
	2,0	12,3333	106,7930	1,000	-412,687	437,353
	4,0	-106,6667	106,7930	0,036	-531,687	318,353
	5,0	-49,0556	106,7930	0,996	-474,076	375,964
	6,0	66,7593	106,7930	0,985	-358,261	491,779
4,0	1,0	206,6667	106,7930	0,043	-218,353	631,687
	2,0	119,0000	106,7930	0,860	-306,020	544,020
	3,0	106,6667	106,7930	0,036	-318,353	531,687
	5,0	57,6111	106,7930	0,992	-367,409	482,631
	6,0	173,4259	106,7930	0,614	-251,594	598,446
5,0	1,0	149,0556	106,7930	0,037	-275,964	574,076
	2,0	61,3889	106,7930	0,989	-363,631	486,409
	3,0	49,0556	106,7930	0,996	-375,964	474,076
	4,0	-57,6111	106,7930	0,992	-482,631	367,409
	6,0	115,8148	106,7930	0,039	-309,205	540,835
6,0	1,0	33,2407	106,7930	0,999	-391,779	458,261
	2,0	-54,4259	106,7930	0,994	-479,446	370,594
	3,0	-66,7593	106,7930	0,985	-491,779	358,261
	4,0	-173,4259	106,7930	0,614	-598,446	251,594
	5,0	-115,8148	106,7930	0,039	-540,835	309,205

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la Tabla 6, la adsorción de material particulado de los 30 días del mes, las muestras uno y dos tiene entre ambas medias de -87.6667, un error típico de 106,7930, que es un error típico para la diferencia de estas medias, un P-valor (Sig.) de 0,953 no significativo puesto que la adsorción del material particulado no difiere significativamente en la muestra uno y dos y un intervalo de confianza con un límite inferior negativo y un límite superior positivo. En cambio, si observamos

las muestras de uno con muestras cuatro y cinco el P-valor es significativo deduciendo que si hay diferencias significativas entre ambos. Por lo tanto, según la prueba Tukey se concluye que hay diferencias significativas en la adsorción de ambas especies ornamentales de concentraciones del material particulado entre los 30 días.

Tabla 7*Correlaciones significativas de Pearson*

		Adsorción de Material Particulado	Cantidad de muestras
Adsorción de Material Particulado	Correlación de Pearson	1	0,218
	Sig. (bilateral)		0,495
	N	12	12
Cantidad de muestras	Correlación de Pearson	0,218	1
	Sig. (bilateral)	0,495	
	N	12	12

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

De acuerdo al tabla 7, la correlación de adsorción de material particulado en ambas especies es positivo igual a significancia de 0,495 mayor a 0,05, por lo cual se acepta la hipótesis nula porque existe variación de adsorción de material particulado en ambas especies (*Cytisus canariensis* y *Malva sylvestris*) en los 12 muestras evaluadas en total.

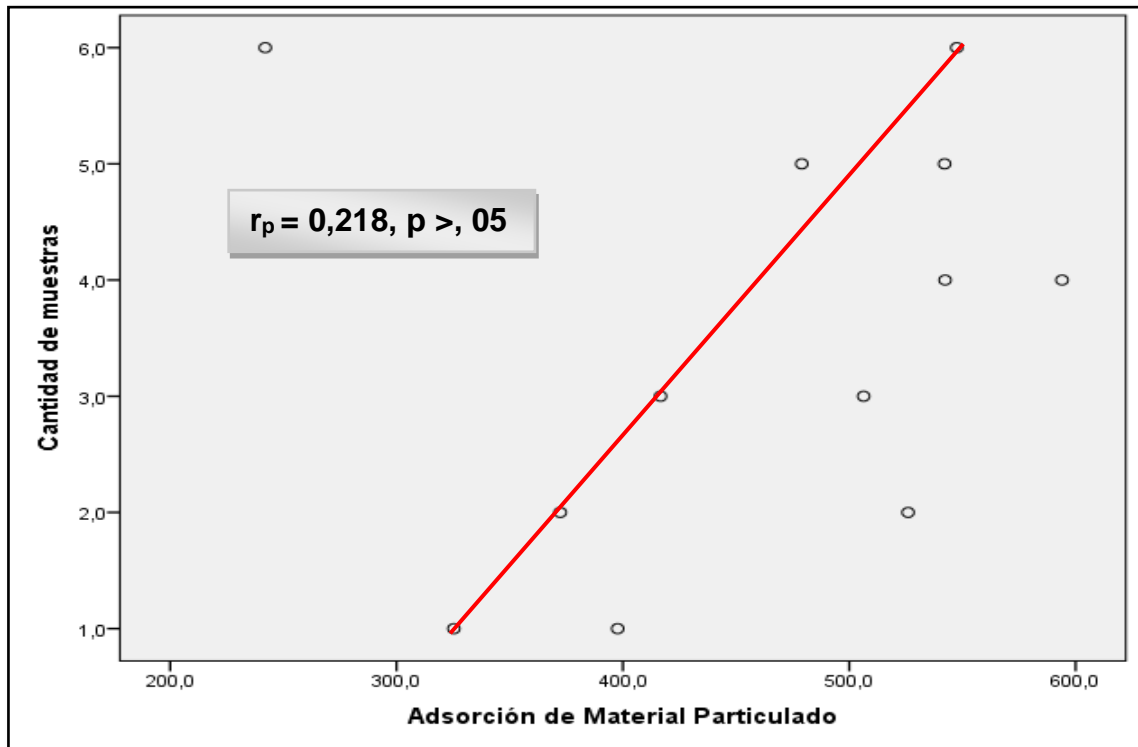


Figura 15. Grado de relación lineal entre dos variables cuantitativas

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

De acuerdo a la figura 15, la adsorción de material particulado en especies de *Cytisus canariensis* y *Malva sylvestris*, la relación lineal es positiva entre los dos variables cuantitativas lo cual significa que los valores de las dos variables varían de forma parecida y los valores de coeficientes de correlación es de 0,218 indican que la relación de adsorción de material particulado es más estrecha.

5.2. Análisis por objetivos

- a) Identificar la cantidad de adsorción de material particulado, en las áreas foliares de especies *Cytisus canariensis* y *Malva sylvestris*.

Tabla 8

Adsorción de material particulado en especie *Cytisus canariensis*

NUMERO	PARAMETROS	ZONAS DE MUESTREO					
		UNA-Puno	Huáscar	Ovalo Ramón Castilla	Puente Bellavista	Circunvalación sur	Salcedo
		Cytisus	Cytisus	Cytisus	Cytisus	Cytisus	Cytisus
1	SÓLIDOS SUSPENDIDOS DISUELTOS (mg/L)	466	510	620	740	690	470
2	SULFATOS (mg/L)	170	277	277	195	175	170
3	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)	557	791	622	847	781	436

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

En la Tabla 8, podemos observar los promedios de capacidad de adsorción del material particulado por miligramos por litro, donde el *Cytisus canariensis* en puntos de evaluación: UNA-Puno en sólidos suspendidos disueltos 466 mg/L, sulfatos 170 mg/L, sólidos suspendidos totales 557 mg/L, Huáscar sólidos suspendidos disueltos 510 mg/L, sulfatos 277 mg/L, sólidos suspendidos totales 791 mg/L, Ovalo Ramón Castilla sólidos suspendidos disueltos 620 mg/L, sulfatos 277 mg/L, sólidos suspendidos totales 622 mg/L, Puente Bellavista sólidos suspendidos disueltos 740 mg/L, sulfatos 195 mg/L, sólidos suspendidos totales 847 mg/L, Circunvalación Sur sólidos suspendidos disueltos 690 mg/L, sulfatos 175 mg/L, sólidos suspendidos totales 781 mg/L, Salcedo suspendidos disueltos 470 mg/L, sulfatos 170 mg/L, sólidos suspendidos totales 436 mg/L.

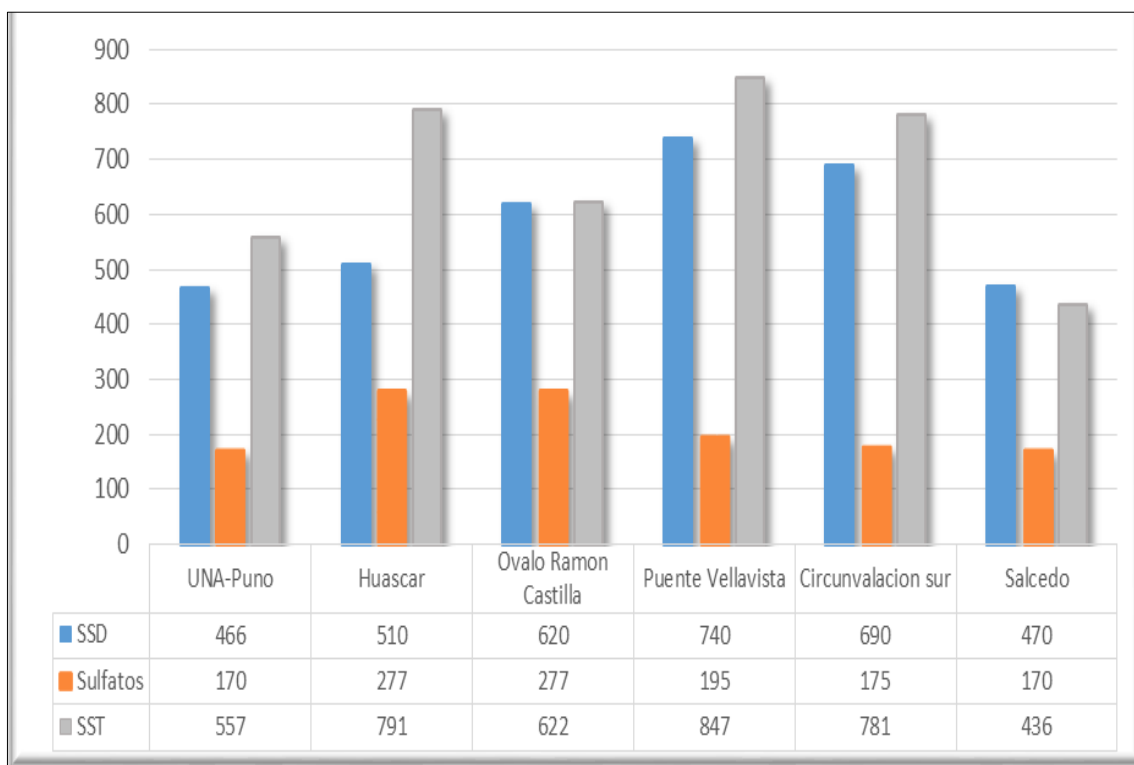


Figura 16. Adsorción de sólidos suspendidos disueltos, sulfatos y sólidos suspendidos totales en **Cytisus canariensis** (mg/L)

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la Figura 16, la mayor adsorción de material particulado en especie ornamental en **Cytisus canariensis**, representa los sólidos suspendidos totales en cinco puntos de monitoreo con excepción de punto de evaluación de salcedo, como segundo tenemos sólidos suspendidos disueltos y como tercer tenemos los sulfatos.

Tabla 9

Adsorción de material particulado en especie y *Malva sylvestris*

N°	PARAMETROS	ZONAS DE MUESTREO					
		UNA-Puno	Huáscar	Ovalo Ramón Castilla	Puente Bellavista	Circunvalación sur	Salcedo
		Malva	Malva	Malva	Malva	Malva	Malva
1	SÓLIDOS SUSPENDIDOS DISUELTOS (mg/L)	540	660	790	800	650	270
2	SULFATOS (mg/L)	160	195	230	320	170	160
3	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)	276	262	230	507	617	296

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

En la Tabla 9, podemos observar los promedios de capacidad de adsorción del material particulado por miligramos por litro, donde el *Malva sylvestris* en puntos de evaluación: UNA-Puno en sólidos suspendidos disueltos 540 mg/L, sulfatos 160 mg/L, sólidos suspendidos totales 276 mg/L, Huáscar sólidos suspendidos disueltos 660 mg/L, sulfatos 195 mg/L, sólidos suspendidos totales 262 mg/L, Ovalo Ramón Castilla sólidos suspendidos disueltos 790 mg/L, sulfatos 230 mg/L, sólidos suspendidos totales 230 mg/L, Puente Bellavista sólidos suspendidos disueltos 800 mg/L, sulfatos 320 mg/L, sólidos suspendidos totales 507 mg/L, Circunvalación Sur sólidos suspendidos disueltos 650 mg/L, sulfatos 170 mg/L, sólidos suspendidos totales 617 mg/L, Salcedo suspendidos disueltos 270 mg/L, sulfatos 160 mg/L, sólidos suspendidos totales 296 mg/L.

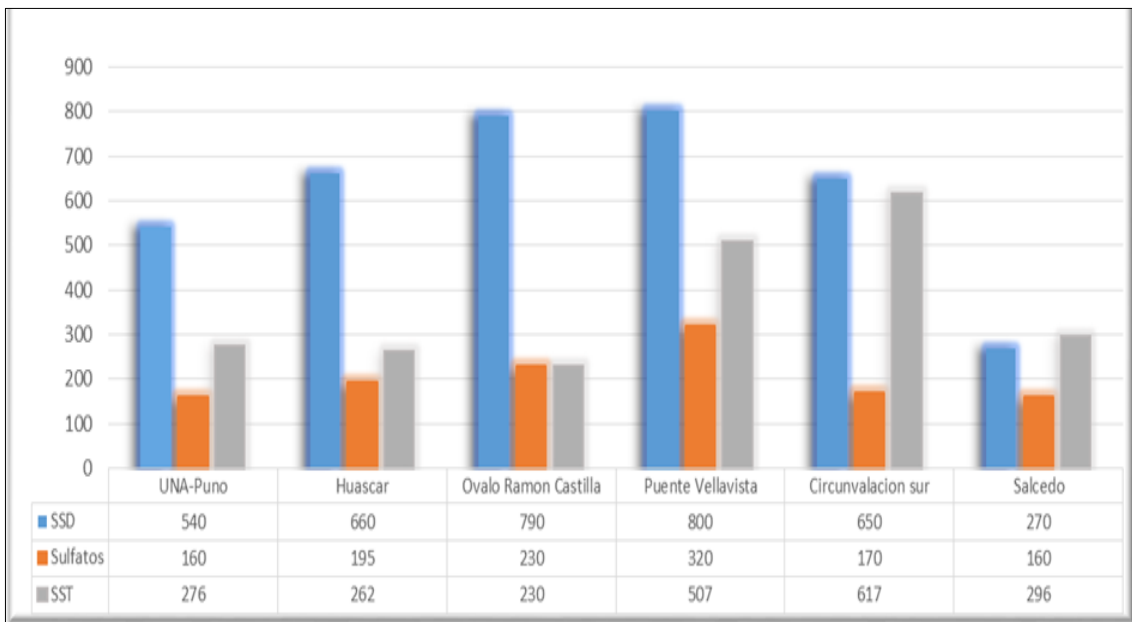


Figura 17. Adsorción de sólidos suspendidos disueltos, sulfatos y sólidos suspendidos totales en *Malva sylvestris* (mg/L)

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la Figura 17, la mayor adsorción de material particulado en especie ornamental en *Cytisus canariensis*, representa los sólidos suspendidos disueltos en cinco puntos de muestreo con excepción de punto de evaluación de salcedo, como segundo se tiene sólidos suspendidos totales y como tercer tenemos los sulfatos.

B) Determinar la composición de material particulado adsorbido por cada especie arbórea.

Tabla 10

Composición de material particulado adsorbido por cada especie

Nombre de especie	Aluminio (Al)	Arsénico (As)	Bario (Ba)	Cadmio (Cd)	Cobalto (Co)	Cobre (Cu)	Plomo (Pb)	Manganeso (Mn)	Molibdeno (Mo)	Potasio (K)	Selenio (Se)	Estroncio (Sr)	Zinc (Zn)
<i>Malva sylvestris</i> ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,1275	0,1142	0,0497	0,0025	0,0041	0,0142	0,0071	0,1370	0,0047	0,0385	0,0036	0,0195	0,0165
<i>Cytisus canariensis</i> ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,1140	0,0381	0,0415	0,0022	0,0034	0,0100	0,0064	0,1114	0,0021	0,0227	0,0002	0,0166	0,0136

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

En la Tabla 10 se presenta la composición de material particulado adsorbido por especie ornamental de ***Malva sylvestris*** son los siguientes: En aluminio (Al) 0,1275 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, arsénico (As) 0,1142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bario (Ba) 0,0497 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cadmio (Cd) 0,0025 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cobalto (Co) 0,0041 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cobre (Cu) 0,0142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, plomo (Pb) 0,0071 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, manganeso (Mn) 0,1370 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, molibdeno (Mo) 0,0047 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, potasio (K) 0,0385 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, selenio (Se) 0,0036 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, estroncio (Sr) 0,0195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, zinc (Zn) 0,0165 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En especie ornamental ***Cytisus canariensis*** la adsorción es lo siguiente: En aluminio (Al) 0,1140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, arsénico (As) 0,0381 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bario (Ba) 0,0415 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cadmio (Cd) 0,0022 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cobalto (Co) 0,0034 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cobre (Cu) 0,0100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, plomo (Pb) 0,0064 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, manganeso (Mn) 0,1114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, molibdeno (Mo) 0,0021 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, potasio (K) 0,0227 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, selenio (Se) 0,0002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, estroncio (Sr) 0,0166 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y zinc (Zn) 0,0136 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

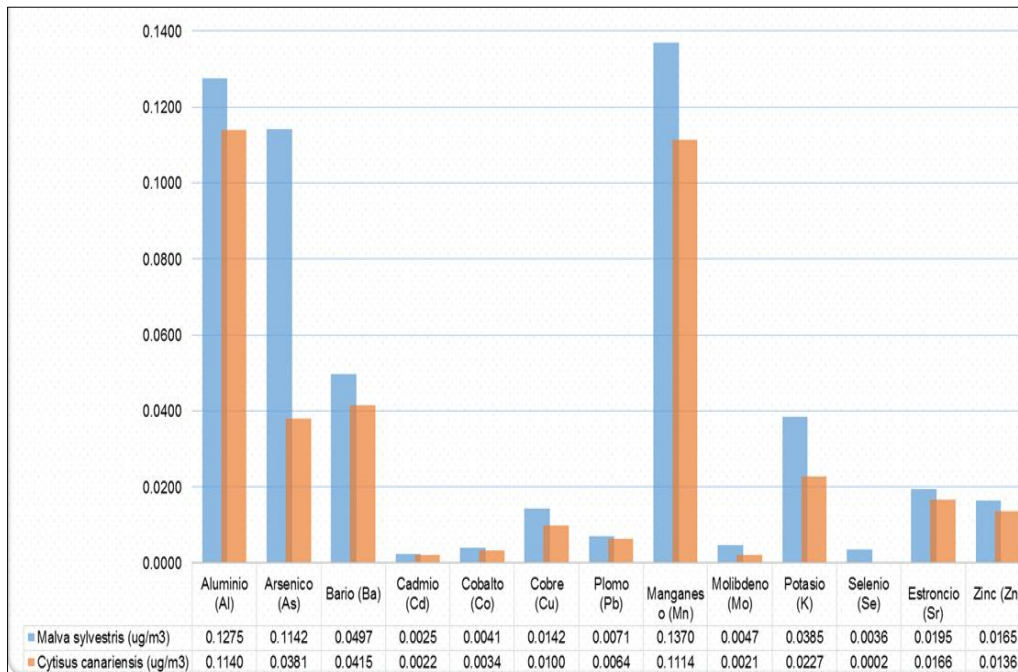


Figura 18. Composición de material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

De acuerdo a Figura 18, la mayor adsorción en ambas especies ornamentales de *Malva sylvestris* y *Cytisus canariensis* es el elemento de manganeso $0,1370 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,1114 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido por elemento aluminio $0,1275 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,1140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y como tercero se tiene el arsénico $0,1142 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,0381 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y los demás elementos como bario, potasio, estroncio, zinc, cobre, plomo, cobalto, molibdeno y por ultimo selenio.

La mayor adsorción de elementos de material particulado es más en especie ornamental de *Malva sylvestris*, mientras en especie ornamental *Cytisus canariensis* es mínima.

C) Calcular el área foliar, tiempo de permanencia de las hojas y número total de hojas por especie ornamental.

Tabla 11

Áreas foliares de Cytisus canariensis

N°	UNA-Puno	Huáscar	Ovalo Ramón Castilla	Puente Bellavista	Circunvalación sur	Salcedo
	Área (cm ²)	Área (cm ²)	Área (cm ²)	Área (cm ²)	Área (cm ²)	Área (cm ²)
1	3,15	3,12	1,85	3,58	3,12	2,99
2	2,06	3,26	2,84	3,09	2,12	4,38
3	2,72	1,76	2,34	2,61	1,31	3,38
4	2,40	2,64	2,33	2,44	2,54	2,90
5	1,90	2,21	1,74	2,28	2,02	2,64
6	1,89	1,89	2,08	3,34	2,90	2,77
7	1,58	3,58	1,80	2,26	2,49	2,91
8	1,70	2,38	2,54	2,42	2,63	2,49
9	1,89	2,47	2,25	2,29	1,66	2,43
10	2,19	2,22	3,41	2,16	2,58	2,68
11	2,77	1,98	3,39	3,54	2,02	2,62
12	2,78	1,42	2,29	3,61	1,99	3,46
13	2,42	2,46	3,16	2,88	2,19	3,84
14	2,33	2,52	2,04	2,94	2,47	3,08
15	3,10	2,29	2,45	2,85	1,68	2,56
16	1,68	2,02	2,80	2,28	2,90	2,01
17	1,60	1,59	2,31	3,14	1,97	3,40
18	2,04	1,53	2,82	1,90	2,65	2,07
19	1,27	1,86	1,58	1,85	3,27	3,64
20	1,64	1,83	1,74	1,35	2,57	3,72
21	2,08	1,80	2,33	2,08	2,74	2,70
22	1,82	2,03	1,87	2,48	2,39	2,20
23	2,60	2,24	2,64	3,12	2,21	2,54
24	3,62	2,07	2,79	3,47	1,99	2,62
25	2,15	2,09	2,76	2,72	1,56	3,53
26	2,23	1,72	1,76	2,19	1,65	1,83
27	1,96	1,45	2,17	2,16	1,33	2,19
28	1,26	1,95	1,62	1,45	1,79	2,07
29	1,71	1,63	1,28	1,80	2,75	2,09
30	1,55	1,25	1,19	1,43	1,83	3,71
Área Total (cm ²)	64,07	63,20	68,15	75,69	67,29	85,45
Promedio (cm ²)	2,14	2,11	2,27	2,52	2,24	2,85
Promedio general (cm ²)	2,35					

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

De acuerdo a la Tabla 11, en las treinta hojas de **Cytisus canariensis**, en puntos de evaluaciones: UNA-Puno 2,14 cm², Huáscar 2,11 cm², Ovalo Ramón Castilla 2,27 cm², Puente Bellavista 2,52 cm², Circunvalación sur 2,24 cm², Salcedo 2,85 cm², y como promedio general del área de hojas témenos 2,35 cm².

Tabla 12*Áreas foliares de Malva sylvestris*

N°	UNA-Puno	Huáscar	Ovalo Ramón Castilla	Puente Bellavista	Circunvala ción sur	Salcedo
	Área (cm ²)	Área (cm ²)	Área (cm ²)	Área (cm ²)	Área (cm ²)	Área (cm ²)
1	40,45	49,32	43,45	28,01	42,64	30,50
2	40,76	40,64	38,48	27,89	33,96	27,43
3	43,65	27,42	38,96	29,44	36,94	24,12
4	25,42	32,64	27,75	32,26	22,50	23,48
5	40,33	23,60	25,34	24,23	38,37	36,71
6	43,49	44,78	46,73	55,93	33,57	28,80
Área	234,10	218,40	220,69	197,77	207,98	171,04
Total						
Promedio	39,02	36,40	36,78	32,96	34,66	28,51
Promedio general				34,72		

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

De acuerdo al Tabla 12, en los treinta hojas de *Malva sylvestris*, en puntos de evaluaciones: UNA-Puno 39,02 cm², Huáscar 36,40 cm², Ovalo Ramón Castilla 36,78 cm², Puente Bellavista 32,96 cm², Circunvalación sur 34,66 cm², Salcedo 28,51 cm² y como promedio general del área de hojas tenemos 34,72 cm².

Tabla 13*Tiempo de permanencia de las hojas de **Malva sylvestris***

N°	UNA-Puno	Huáscar	Ovalo Ramón Castilla	Puente Bellavista	Circunvala ción sur	Salcedo
	Permanen cia de hojas/días	Permanen cia de hojas/días	Permanen cia de hojas/días	Permanen cia de hojas/días	Permanen cia de hojas/días	Permanen cia de hojas/días
1	140	139	132	138	136	135
2	135	136	137	132	131	131
3	132	131	131	130	134	139
4	130	129	136	131	133	129
5	129	137	135	134	132	133
6	137	136	130	129	129	137
Promedio	134	135	134	132	133	134
Promedio general	133					

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según el Tabla 13, el tiempo de permanencia de hojas de **Malva sylvestris** en los seis puntos de evaluación tienen un promedio general de 133 días, donde en UNA-Puno 134 días, Huáscar 135 días, Ovalo Ramón Castilla 134 días, Puente Bellavista 132 días, Circunvalación sur 133 días, Salcedo 134 días.

Tabla 14*Tiempo de permanencia de las hojas **Cytisus canariensis***

N°	UNA-Puno	Huáscar	Ovalo Ramón Castilla	Puente Bellavista	Circunvalación sur	Salcedo
	Permanencia de hojas/días	Permanencia de hojas/días	Permanencia de hojas/días	Permanencia de hojas/días	Permanencia de hojas/días	Permanencia de hojas/días
1	97	92	89	91	94	96
2	89	96	93	89	93	89
3	92	87	99	87	90	91
4	95	90	91	97	88	93
5	97	98	93	89	92	91
6	91	91	96	94	91	94
Promedio	94	92	94	91	91	92
Promedio general	92					

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la Tabla 14, el tiempo de permanencia de hojas de **Cytisus canariensis** en los seis puntos de evaluación tienen un promedio general de 92 días, donde en UNA-Puno 94 días, Huáscar 92 días, Ovalo Ramón Castilla 94 días, Puente Bellavista 91 días, Circunvalación sur 91 días, Salcedo 92 días.

Tabla 15*Cantidad de hojas por especie Malva sylvestris*

N°	UNA- Puno	Huáscar	Ovalo Ramón Castilla	Puente Bellavista	Circunvala ción sur	Salcedo
	Número	Número	Número	Número	Número	Número
1	18	16	17	16	18	19
2	16	17	16	19	17	15
3	15	19	18	16	16	14
4	19	14	20	17	18	16
5	17	20	15	15	19	17
6	16	18	17	19	16	18
Promedio hojas por planta	1094	1127	1116	1105	1127	1073
Promedio general	1107					

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

De acuerdo a la Tabla 15, la cantidad de área foliar o hojas de especie ornamental de *Malva sylvestris*, en los puntos de evaluación de UNA-Puno 1094 hojas por planta, Huáscar 1127 hojas por planta, Ovalo Ramón Castilla 1116 hojas por planta, Puente Bellavista 1105 hojas por planta, Circunvalación Sur 1127 hojas por planta, Salcedo 1073 hojas por planta y como promedio general se tiene 1107 hojas por planta de *Malva sylvestris*. Para el cálculo de cantidad de hojas por ornamental se consideró un promedio de 65 en cada planta y multiplicado por cantidad de hojas como se observa en el cuadro antes mencionado.

Tabla 16*Cantidad de hojas por especie **Cytisus canariensis***

N°	UNA-Puno	Huáscar	Ovalo Ramón Castilla	Puente Bellavista	Circunvalación sur	Salcedo
	Cantidad de hojas/rama	Cantidad de hojas/rama	Cantidad de hojas/rama	Cantidad de hojas/rama	Cantidad de hojas/rama	Cantidad de hojas/rama
1	33	25	29	25	31	25
2	27	28	26	31	27	30
3	33	19	28	22	28	31
4	21	27	30	28	27	28
5	26	34	23	23	30	28
6	30	23	26	31	31	29
Promedio de hojas por número de ramas	3542	3250	3375	3333	3625	3563
Promedio general	3448					

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

De acuerdo a la Tabla 16, la cantidad de área foliar o hojas de especie ornamental de **Cytisus canariensis**, en los puntos de evaluación de UNA-Puno 3542 hojas por planta, Huáscar 3250 hojas por planta, Ovalo Ramón Castilla 3375 hojas por planta, Puente Bellavista 3333 hojas por planta, Circunvalación Sur 3625 hojas por planta, Salcedo 3563 hojas por planta, y como promedio general se tiene 3448 hojas por planta de **Cytisus canariensis**. Para el cálculo de cantidad de hojas por ornamental se consideró un promedio de 125 ramas en cada planta y multiplicado por cantidad de hojas como se observa en el cuadro antes mencionado.

5.6. Datos meteorológicos

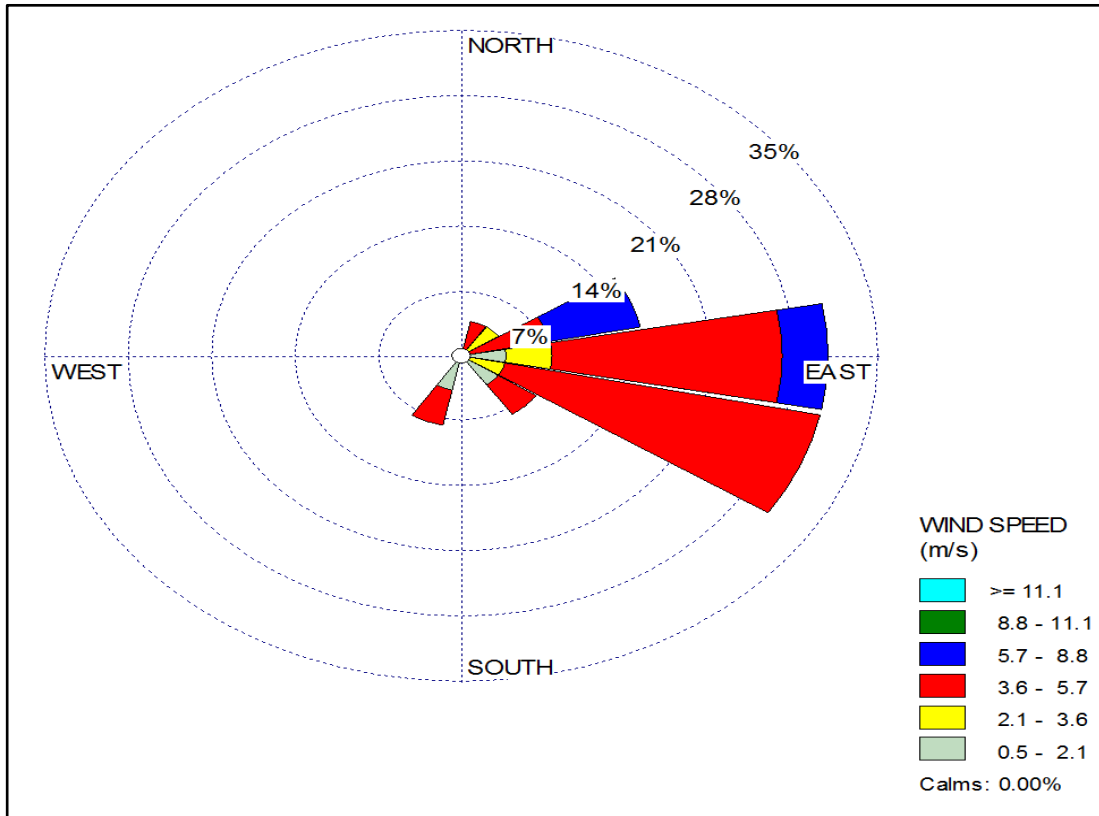
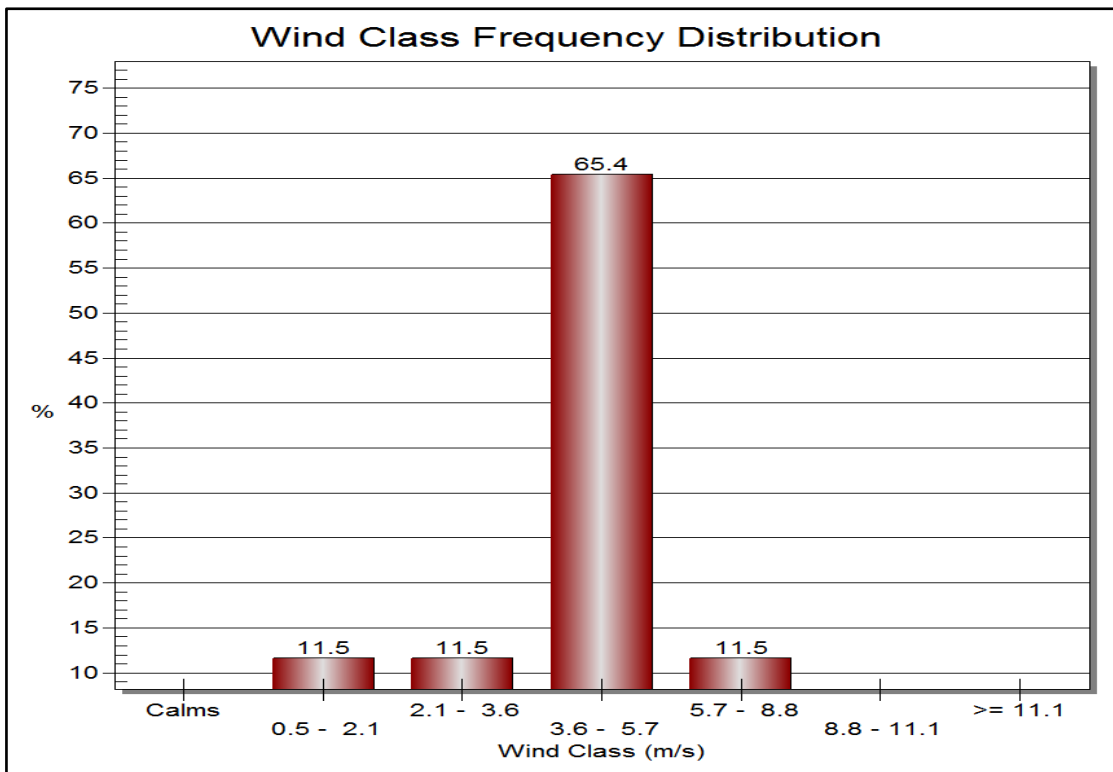


Figura 19. Rosa de vientos de la Ciudad de Puno.

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

En la Figura 19, se muestra la rosa de vientos del mes de noviembre del 2018. Se observa claramente como la velocidad de viento predomina hacia el Noreste (NE), Sureste (SE) y en menor cantidad se dirigen a Suroeste (SW). Efectuando el análisis respectivo se puede observar el comportamiento del viento es predominante en el transcurso del mes de noviembre con un porcentaje relativamente bajo, también los intervalos de velocidad más consistentes son los de 3,6 a 5,7 m/s, de 5,7 a 8,8 m/s y de 2,1 a 3,6 m/s, mientras que el de menor frecuencia es el intervalo de 0,5 a 2,1 m/s.



Fuente: Elaboración propia utilizando software WRPLOT View Freeware 7.0.0

Figura 20. Distribución de frecuencia de clase de viento en la ciudad de Puno.

Interpretación

Según la Figura 20, la rosa de vientos se muestra los momentos de calma que ocurren en el transcurso del mes, lo que quiere decir que hay periodos en los que es continua la velocidad del viento ya que la figura 19 de rosa de vientos no muestra un momento de calma de velocidad en ese instante del mes de noviembre. También en la figura 20, se muestra que el 65,4 % de vientos predominan con velocidades de 3,6 – 5,7 m/s y los demás 11,5 % representa con velocidades de 0,5 – 8,8 m/s

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

6.1. Discusión de resultados por objetivos

A) Identificar la cantidad de adsorción de material particulado, en las áreas foliares en especies *Cytisus canariensis* y *Malva sylvestris*.

Según los resultados de análisis de varianza, la adsorción del material particulado de especies ornamentales de *Cytisus canariensis* y *Malva sylvestris*, el valor del estadístico de contraste de igualdad de medias es menor que el nivel de significación del 5 %, entonces existen diferencias significativas en la adsorción de material particulado, de la misma forma según la coeficiente de variabilidad es 23,30 %, indica la variabilidad de adsorción en ambas especies ornamentales. Según la prueba Tukey y correlación de Pearson se afirma también la existencia de diferencias significativas en la adsorción de material particulado de ambas especies ornamentales en la ciudad de Puno.

Con respecto de cantidad de adsorción del material en especie ornamental *Cytisus canariensis* en puntos de evaluación: UNA-Puno en sólidos suspendidos disueltos 466 mg/L, sulfatos 170 mg/L, sólidos suspendidos totales 557 mg/L, Huáscar sólidos suspendidos disueltos 510 mg/L, sulfatos 277 mg/L, sólidos suspendidos totales 791 mg/L, Ovalo Ramón Castilla sólidos suspendidos disueltos 620 mg/L, sulfatos 277 mg/L, sólidos suspendidos totales 622 mg/L, Puente Bellavista sólidos suspendidos disueltos 740 mg/L, sulfatos 195 mg/L, sólidos suspendidos totales 847 mg/L, Circunvalación Sur sólidos suspendidos disueltos 690 mg/L, sulfatos 175 mg/L, sólidos suspendidos totales 781 mg/L, Salcedo sólidos suspendidos disueltos 470 mg/L, sulfatos 170 mg/L, sólidos suspendidos totales 436 mg/L. En especie *Malva sylvestris*, sólidos suspendidos totales del material particulado es mayor a comparación de *Cytisus canariensis*, donde la composición de SST, son una serie de diminutos cuerpos sólidos o de

gotitas de líquidos dispersos en la atmosfera y generadas a partir de actividades antropogénicas constituidas por una amplia variedad de tamaños, formas y composiciones químicas, algunas son nocivas para la salud, alteran las propiedades de la atmosfera ante la luz solar o reducen la visibilidad. La importancia de partículas es la afección sobre el equilibrio de la radiación terrestre y efectos nocivos sobre la salud donde las partículas penetran en los pulmones, los bloquean y evitan el paso del aire, lo que provoca efectos dañinos.

En especie ornamental de ***Malva sylvestris*** en puntos de evaluación: UNA-Puno en sólidos suspendidos disueltos 540 mg/L, sulfatos 160 mg/L, sólidos suspendidos totales 276 mg/L, Huáscar sólidos suspendidos disueltos 660 mg/L, sulfatos 195 mg/L, sólidos suspendidos totales 262 mg/L, Ovalo Ramón Castilla sólidos suspendidos disueltos 790 mg/L, sulfatos 230 mg/L, sólidos suspendidos totales 230 mg/L, Puente Bellavista sólidos suspendidos disueltos 800 mg/L, sulfatos 320 mg/L, sólidos suspendidos totales 507 mg/L, Circunvalación Sur sólidos suspendidos disueltos 650 mg/L, sulfatos 170 mg/L, sólidos suspendidos totales 617 mg/L, Salcedo suspendidos disueltos 270 mg/L, sulfatos 160 mg/L, sólidos suspendidos totales 296 mg/L. Sin embargo, la mayor adsorción de sólidos suspendidos disueltos es en especie ***Malva sylvestris***, donde los sales disueltas y entre otros elementos del material particulado en la ciudad es originada también por diversas actividades antropogénicas los contaminantes de este tipo no son visibles a simple vista pero pueden ser muy toxicas y de manera letal, también existe un correlación directa entre la conductividad y concentración de sólidos disueltos totales (TDS), dicha correlación no se extiende a ambientes hipersalinos, en dichos ambientes de la ciudad de Puno son significativos por que presentan niveles altos en adsorción del material particulado.

Las hojas de ***Malva sylvestris*** son pecioladas y redondeadas, pubescentes y miden un aproximado de 5 - 10 cm, son suborbiculares o cordiformes, con entre 3 y 7 lóbulos no muy marcados, crenadas o serradas y con un largo peciolo; las hojas caulinares tienen entre 5 y 7 lóbulos más marcados, que alcanzan los 150 cm de altura y ligeramente pilosos y hojas de ***Cytisus canariensis*** se componen

de foliolos en forma de óvalos de hasta un centímetro de largo y densamente pilosas en el envés, entonces

La especie ornamental *Malva sylvestris* adsorbe mayor cantidad de contaminantes es debido a su mayor medida de área de hojas a comparación de *Cytisus canariensis*, tiene hojas pequeñas es por ello adsorbe menor cantidad de material particulado.

De las concentraciones de sulfatos encontradas en las partículas PM₁₀ y sus fracciones y debido a la relación directa que estos contaminantes tienen con los óxidos de azufre y nitrógeno, se puede decir que el comportamiento de las concentraciones de la ciudad de Chihuahua, siguen un comportamiento sistemático de acuerdo al período del año y a las condiciones climatológicas de la ciudad, ya que los valores reportados en este trabajo coinciden con las tendencias encontradas por estudios realizados en el mismo período para SO_x y NO_x (Manzanares et al, 2001).

Los valores de las concentraciones de sulfatos de acuerdo con los resultados obtenidos de las mediciones en la ciudad de Chihuahua se encuentran muy por debajo de las concentraciones reportadas por estudios realizados en la ciudad de México, Monterrey (Guadalajara), no ocurriendo lo mismo para las concentraciones de nitratos, en donde se encuentra este último por arriba de los valores reportados para las ciudades antes mencionadas, así lo demuestran estudios realizados por la Universidad Autónoma Metropolitana y la red de monitoreo ambiental de la ciudad de México.

Las principales fuentes de metales incluyen la industria, la minería, la fundición de metales y las fuentes móviles. (Mohanraj et al. (2004), partículas conteniendo calcio, sulfato, fosfato son las dominantes en el material particulado de gasolinas livianas (Sodeman et al, 2005)

El Quijano et al (2010), logra detectar en material particulado en Pamplona la presencia de iones Sulfatos, que posiblemente provengan del combustible

diésel utilizado por las fuentes móviles donde se concuerda con la presencia de sulfatos de material particulado en la ciudad de Puno.

B) Determinar la composición de material particulado adsorbido por cada especie arbórea.

La composición elemental de las partículas adsorbidas por ambas especies ornamentales en la ciudad de Puno, en *Malva sylvestris* son los siguientes: En aluminio (Al) 0,1275 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, arsénico (As) 0,1142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bario (Ba) 0,0497 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cadmio (Cd) 0,0025 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cobalto (Co) 0,0041 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cobre (Cu) 0,0142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, plomo (Pb) 0,0071 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, manganeso (Mn) 0,1370 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, molibdeno (Mo) 0,0047 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, potasio (K) 0,0385 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, selenio (Se) 0,0036 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, estroncio (Sr) 0,0195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, zinc (Zn) 0,0165 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El *Malva sylvestris* es más eficiente en adsorción de diferentes elementos de material particulado en específicos manganeso *Cytisus canariensis* la adsorción es lo siguiente: En aluminio (Al) 0,1140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, arsénico (As) 0,0381 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bario (Ba) 0,0415 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cadmio (Cd) 0,0022 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cobalto (Co) 0,0034 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cobre (Cu) 0,0100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, plomo (Pb) 0,0064 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, manganeso (Mn) 0,1114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, molibdeno (Mo) 0,0021 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, potasio (K) 0,0227 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, selenio (Se) 0,0002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, estroncio (Sr) 0,0166 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, zinc (Zn) 0,0136 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

El mayor nivel de adsorción es el manganeso en ambas especies: *Malva sylvestris* 0,1370 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, *Cytisus canariensis* 0,1114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el Quispe A. (2015), indica que el promedio de concentración de manganeso es 0,0589 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ver tabla 1) en la ciudad de Puno y liberado por alto tráfico vehicular y del proceso de combustión por acción de la luz natural y por acción del viento de este a oeste, trasladándose desde la zona céntrica de la ciudad de Puno, por otra parte Lin et al (2005), menciona que el manganeso es también emitido durante procesos de combustión fósil, mientras Aldabe, S. (2011), indica que el Mn se relaciona con material particulado procedentes de las industrias metalúrgicas. Explicando la presencia del Mn donde hay flujo vehicular y donde hay presencia de actividades de industria metálica.

La adsorción de aluminio en **Malva sylvestris** 0,1275 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, **Cytisus canariensis** 0,1140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y la presencia de aluminio en material particulado en la ciudad de Puno, se relaciona con los metales identificados con diversas fuentes, donde el aluminio, son típicamente materiales del suelo y la corteza terrestre; cobre están relacionados con emisiones vehiculares, en tanto que el manganeso, zinc y potasio son principalmente originados en procesos industriales (Grazia et al, 2001).

La adsorción de arsénico se da en mayor nivel: **Malva sylvestris** 0,1142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, **Cytisus canariensis** 0,0381 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras Quispe A. (2015), concluye el promedio concentración de 0,0008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ver tabla 1) y sustenta que arsénico tiene relación con el proceso de combustión y con tráfico vehicular siendo una de las posibles causas de la presencia del arsénico. Además, según Aldabe, S. (2011), indica que el As es emitido por procesos naturales como erupciones volcánicas, incendios forestales o tormentas de polvo y se relaciona con los materiales particulado procedentes de las industrias metalúrgicas y procesos de combustión fósil donde explicaría la elevada presencia de este elemento.

La adsorción de cadmio se da en mayor nivel: **Malva sylvestris** 0,0025 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, **Cytisus canariensis** 0,0022 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Quispe A. (2015), indica el promedio de concentración de cadmio de 0,0002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ver tabla 1) y de la misma forma explica que en estas zonas es más constante el flujo vehicular y son elevados además en horas de la noche hay presencia de quema de basuras sobre todo en horas de la madrugada que se puede relacionar con una mayor actividad antropogénica, mayor producción de residuos sólidos y posiblemente mayor presencia de quema de residuos sólidos en las calles. Además, según Aldabe, S. (2011), indican que Cd es emitido por quema de madera y está relacionado con las emisiones del tráfico rodado.

La adsorción de plomo se da en mayor nivel: **Malva sylvestris** 0,0071 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, **Cytisus canariensis** 0,0064 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Quispe A. (2015), concluye el promedio de concentración de plomo 0,0068 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ver tabla 1) y menciona que

el plomo está asociado con trabajos en industria metálica como talleres donde se realiza soldaduras y donde hay presencia de combustión fósil, flujo vehicular y Aldabe, S. (2011), indica que el Pb es emitido por procesos naturales y está relacionado con las emisiones del tráfico rodado.

La adsorción de cobre se da en mayor nivel: **Malva sylvestris** 0,0142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, **Cytisus canariensis** 0,0100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras el Quispe A. (2015), menciona que el promedio de concentración en la ciudad de Puno de cobre es 0,0715 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ver tabla 1) y sustenta que por mayor tráfico vehicular y lugares donde hay quemadas de madera, el flujo vehicular, cantidad de actividades antropogénicas, presencia de mayor número de industria maderera (talleres de carpintería, ebanistería) y la presencia cercana de pollerías que utilizan la leña como fuente de combustión en similitud a los incendios forestales indicados. Además, Aldabe, S. (2011), indica que el Cu es emitido por procesos como quemadas de madera o tormentas de polvo y procede de las industrias metalúrgicas y está relacionado con las emisiones del tráfico rodado. Esto explica la presencia de este elemento debido a la presencia de quemadas de maderas, actividades antropogénicas y el elevado flujo vehicular.

La adsorción de zinc se da en mayor nivel: **Malva sylvestris** 0,0165 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, **Cytisus canariensis** 0,0136 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el Quispe A. (2015), determina que el promedio de la concentración de zinc es 0,7672 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ver tabla 1) en ciudad de Puno, las principales fuentes de este componente serían remoción de tierra (polvo), soldaduras metálicas, incineración de carbón y desperdicios que podrían ser residuos sólidos (basurales); efectivamente en estas dos zonas hay presencia de numerosas pollerías que utilizan el carbón como fuente y en horas de la noche se producen quemadas de residuos probablemente productos de las demás actividades antropogénicas reconocidos en estas zonas. Las cuales podrían ser factores claves de este componente.

Por otro lado, Aldabe, S. (2011), indica que el Fe y el Zn están relacionados con las emisiones del tráfico rodado y en las tormentas de polvo. Esto confirma la presencia de estos elementos donde hay remoción de tierra y polvo causado por erosión eólica de polvo por el tráfico vehicular.

La adsorción de bario se da en mayor nivel: **Malva sylvestris** 0,0497 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, **Cytisus canariensis** 0,0415 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el bario es liberado al aire y durante la combustión del carbón y aceites. El bario es encontrado en la mayoría de los suelos en bajos niveles que pueden ser más altos en vertederos de residuos peligrosos.

La adsorción de estroncio se da en mayor nivel: **Malva sylvestris** 0,0195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, **Cytisus canariensis** 0,0166 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, es divalente en todos sus compuestos, que son, al igual que el hidróxido, el fluoruro y el sulfato, totalmente solubles. El estroncio es un formador de complejos más débiles que el calcio, formando unos cuantos oxi-complejos débiles con tartratos y citratos.

La toma de alta concentraciones de estroncio no es conocida generalmente como un gran peligro para la salud humana. En algún caso alguien experimenta una reacción alérgica hacia el estroncio, pero no ha habido casos desde entonces. Para los niños una toma excesiva puede ser un riesgo para la salud, debido a que puede causar problemas en el crecimiento de los huesos. El estroncio está siempre presente en el aire como polvo, en un cierto nivel. Las concentraciones de estroncio en el aire son incrementadas por las actividades humanas, como es la combustión de carbón y aceite. Partículas de polvo que contienen estroncio precipitarán en las aguas superficiales, en el suelo o en las superficies de las plantas en algún lugar. Cuando las partículas no precipitan estas volverán a caer a la tierra cuando llueve o cuando nieve. Todo el estroncio eventualmente terminará en los suelos o en los fondos de las masas de aguas, donde se mezcla con el estroncio que está ya presente.

La adsorción de cobalto se da en mayor nivel en: **Malva sylvestris** 0,0041 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, **Cytisus canariensis** 0,0034 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y es un elemento que ocurre de forma natural en el medio ambiente en el aire, agua, suelo, rocas, plantas y animales. Este puede también entrar en el aire y el agua y depositarse sobre la tierra a través del viento y el polvo y entrar en la superficie del agua a través de la escorrentía cuando el agua de lluvia corre a través del suelo y rocas que contienen cobalto.

Los humanos añaden cobalto por liberación de pequeñas cantidades en la atmósfera por la combustión de carbón y la minería, el procesado de minerales que contienen cobalto y la producción y uso de compuesto químicos con cobalto.

Los efectos sobre la salud que son el resultado de la toma de altas concentraciones de cobalto son:

- ❖ Vómitos y náuseas.
- ❖ Problemas de visión.
- ❖ Problemas de Corazón.
- ❖ Daño del tiroides.

No se han documentado efectos negativos del molibdeno sobre el medio ambiente.

La adsorción de selenio se da en mayor nivel en: **Malva sylvestris** 0,0036 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, **Cytisus canariensis** 0,0002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el elemento selenio también reacciona directamente con diversos metales y no metales, entre ellos el hidrógeno y los halógenos. Los ácidos no oxidantes, no reaccionan con el selenio; pero el ácido nítrico, el ácido sulfúrico concentrado y los hidróxidos alcalinos fuertes lo disuelven.

El selenio se presenta naturalmente en el medio ambiente. Es liberado tanto a través de procesos naturales como de actividades humanas. En su forma natural el selenio como elemento no puede ser creado ni destruido, pero tiene la capacidad de cambiar de forma.

Los resultados de la presente investigación concuerdan con los resultados de metales presentes en el aire de Pamplona que son Cr, Fe, K, Mn, Ni, Pb, Zn. Las mayores concentraciones de metales presentes en el aire de Pamplona corresponden a K, Zn, Fe, Pb, Cr, Mn, Ni. Al comparar los metales hallados en la ciudad de Bogotá con los de Pamplona, observamos cierta similitud en cuanto a la presencia de: Cr, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn. Al hacer la comparación con metales

hallados en la ciudad de Bucaramanga la similitud es con: Fe, Ni, Pb, Zn y Ca. Elementos como Fe y Pb son característicos de las emisiones vehiculares, comparadas con el aire de Pamplona con Bogota y Bucaramanga (Espinosa V, 2005), (Pachón et al, 2008), (Quijano, et al. 2003).

La mayor adsorción en ambas especies ornamentales de **Malva sylvestris** y **Cytisus canariensis** es el elemento de manganeso $0,1370 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,1114 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido por elemento aluminio $0,1275 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,1140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y como tercero tenemos el arsénico $0,1142 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,0381 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y los demás elementos como bario, potasio, estroncio, zin, cobre, plomo, cobalto, molibdeno y por ultimo selenio. La mayor adsorción de elementos de material particulado es más en especie ornamental de **Malva sylvestris**, mientras es especie ornamental **Cytisus canariensis** es mínima.

c) Calcular el área foliar, tiempo de permanencia de las hojas y número total de hojas por especie ornamental.

La mayor área foliar predomina el especie ornamental **Malva sylvestris**, en puntos de evaluaciones: UNA-Puno $39,02 \text{ cm}^2$, Huáscar $36,40 \text{ cm}^2$, Ovalo Ramón Castilla $36,78 \text{ cm}^2$, Puente Bellavista $32,96 \text{ cm}^2$, Circunvalación sur $34,66 \text{ cm}^2$, Salcedo $28,51 \text{ cm}^2$ y como promedio general del área de hojas tenemos $34,72 \text{ cm}^2$, mientras en especie ornamental **Cytisus canariensis**, en puntos de evaluaciones: UNA-Puno $2,14 \text{ cm}^2$, Huáscar $2,11 \text{ cm}^2$, Ovalo Ramón Castilla $2,27 \text{ cm}^2$, Puente Bellavista $2,52 \text{ cm}^2$, Circunvalación Sur $2,24 \text{ cm}^2$, Salcedo $2,85 \text{ cm}^2$ y como promedio general del área de hojas tenemos $2,35 \text{ cm}^2$. Por ello que en **Malva sylvestris** es mayor la adsorción material particulado a comparación de especie ornamental **Cytisus canariensis**

El tiempo de permanencia de hojas en **Malva sylvestris** en los seis puntos de evaluación tienen un promedio general de 133 días, donde en UNA-Puno 134 días, Huáscar 135 días, Ovalo Ramón Castilla 134 días, Puente Bellavista 132 días, Circunvalación Sur 133 días, Salcedo 134 días. Mientras el tiempo de permanencia de hojas de **Cytisus canariensis** en los seis puntos de evaluación

tienen un promedio general de 92 días, donde en UNA-Puno 94 días, Huáscar 92 días, Ovalo Ramón Castilla 94 días, Puente Bellavista 91 días, Circunvalación Sur 91 días, Salcedo 92 días. Donde la mayor permanencia de hojas tiene el especie ***Malva sylvestris*** a comparación de especie ornamental ***Cytisus canariensis***

La mayor cantidad de hojas tiene la especie ***Cytisus canariensis***, en los puntos de evaluación de UNA-Puno 3542 hojas por planta, Huáscar 3250 hojas por planta, Ovalo Ramón Castilla 3375 hojas por planta, Puente Bellavista 3333 hojas por planta, Circunvalación Sur 3625 hojas por planta, Salcedo 3563 hojas por planta y como promedio general se tiene 3448 hojas por planta de ***Cytisus canariensis***. En ***Malva sylvestris***, en los puntos de evaluación de UNA-Puno 1094 hojas por planta, Huáscar 1127 hojas por planta, Ovalo Ramón Castilla 1116 hojas por planta, Puente Bellavista 1105 hojas por planta, Circunvalación Sur 1127 hojas por planta, Salcedo 1073 hojas por planta, y como promedio general se tiene 1107 hojas por planta de ***Malva sylvestris***.

Datos meteorológicos

En relación a parámetros meteorológicos influyen en la adsorción de material particulado como la dirección del viento, velocidad del viento y la precipitación y otros parámetros meteorológicos y se concuerda con Cortelo (2012), donde afirma que la dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad, precipitación y radiación solar constituyen factores importantes que influyen en la calidad del aire y determinan condiciones de transporte o remoción, diseminación en el entorno, dilución o concentración de los contaminantes, entonces la mayor o menor concentración de material particulado en la ciudad de Puno, depende no sólo de los aportes in situ sino también de los provenientes de otros lugares y que son transportados por el principal agente dispersor, el viento y otros parámetros meteorológicos.

CONCLUSIONES

1. En el estudio realizado, la especie de ***Malva sylvestris*** es más eficiente en la adsorción de material particulado debido a su mayor medida de área foliar de hojas y otras características morfológicas a comparación de ***Cytisus canariensis***, tiene hojas pequeñas es por ello adsorbe menor cantidad de material particulado y de acuerdo al valor estadístico de contraste de igualdad de medias es menor a significancia de **5 %**, entonces existen diferencias significativas en la adsorción de material particulado, la coeficiente de variabilidad es 23,30 %, indica la variabilidad de adsorción en ambas especies ornamentales y se afirma con la prueba Tukey y con correlación Pearson la existencia de diferencias significativas en la adsorción de material particulado de ambos especies ornamentales en la ciudad de Puno.
2. La composición composición de material particulado adsorbido por ***Malva sylvestris***: En aluminio (Al) 0,1275 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, arsénico (As) 0,1142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bario (Ba) 0,0497 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cadmio (Cd) 0,0025 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cobalto (Co) 0,0041 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cobre (Cu) 0,0142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, plomo (Pb) 0,0071 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, manganeso (Mn) 0,1370 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, molibdeno (Mo) 0,0047 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, potasio (K) 0,0385 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, selenio (Se) 0,0036 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, estroncio (Sr) 0,0195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, zinc (Zn) 0,0165 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y mientras en ***Cytisus canariensis***: En aluminio (Al) 0,1140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, arsénico (As) 0,0381 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bario (Ba) 0,0415 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cadmio (Cd) 0,0022 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cobalto (Co) 0,0034 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cobre (Cu) 0,0100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, plomo (Pb) 0,0064 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, manganeso (Mn) 0,1114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, molibdeno (Mo) 0,0021 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, potasio (K) 0,0227 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, selenio (Se) 0,0002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, estroncio (Sr) 0,0166 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y zinc (Zn) 0,0136 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
3. El promedio general de área foliar de hojas de ***Malva sylvestris*** es 34,72 cm^2 y del especie ***Cytisus canariensis*** el promedio de área de hojas es 2,35 cm^2 , y el promedio general de tiempo de permanencia de hojas en ***Malva***

sylvestris es de 133 días, mientras el promedio general de tiempo de permanencia de hojas de ***Cytisus canariensis*** es de 92 días y promedio general de cantidad de hojas en ***Malva sylvestris*** es de 1107 hojas y por último en especie ***Cytisus canariensis*** se obtuvo como promedio general de un total 3448 hojas en la ciudad de Puno.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la municipalidad provincial de Puno a realizar los muestreos en todas las estaciones del año con la finalidad de analizar la influencia de diversos factores en la adsorción de material particulado de especies ***Malva sylvestris*** y del ***Cytisus canariensis***.
2. Realizar un estudio sobre la capacidad de adsorción de material particulado por los forestales nativos y exóticos dentro de la ciudad de Puno, para reforzar el plan de gestión ambiental del aire en la ciudad de Puno, en diferentes épocas del año contribuyendo en la mejora del confort ambiental urbano.
3. Se sugiere programar el muestreo de adsorción de material particulado de la calidad del aire en temporadas de mayor afluencia de visitantes nacionales y extranjeros a la ciudad de Puno, realizando el análisis geoespacial teniendo como variable la concentración de material particulado y número de personas en la ciudad de Puno.
4. Se recomienda a la municipalidad provincial de Puno a realizar las instalación de especies ornamentales de ***Malva sylvestris*** y del ***Cytisus canariensis*** en diferentes áreas verdes proyectadas con la finalidad de mitigar el grado de contaminación del aire en la ciudad de Puno, especialmente el especie ***Malva sylvestris*** porque es más eficiente en la adsorción de material particulado por sus características morfológicas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre et al (2007). Estudio de la determinación de la capacidad de adsorción de material particulado en el aire de 3 especies arbóreas en 2 avenidas principales en el distrito de cercado de Lima. Tesis de pre grado. Universidad Nacional Agraria la molina, Perú.
- Aldabe, S. (2011). Caracterización físico-química del material particulado en la Comunidad Foral de Navarra. Tesis doctoral (2011). Universidad de Navarra.
- American public health association, American water works association y water environment federation (APHA, AWWA Y WEF). (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed. 20th Edition.
- Asturnatura.com "*Malva sylvestris* L." *Asturnatura.com* [en línea]. Núm. 82, 06/05/06 [consultado el: 20/08/2019]. Disponible en <https://www.asturnatura.com/especie/malva-sylvestris.html>>. ISSN 1887-5068.
- Calderón, C. (2009). Contribución del arbolado urbano y periurbano del municipio de Madrid en la mejora de la calidad del aire y sumidero de contaminantes atmosféricos como beneficio para la sociedad. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Carranza, E. (2013). Ecosistema urbano. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/138004003/Ecosistema-Urbano>.
- Carranza, N. (2001). Medio ambiente problemas soluciones. Universidad Nacional del Callao, Perú.
- Carter, J. (1996). El potencial de la silvicultura urbana en los países en desarrollo. Conceptos, Chile.
- Chen et al. (2009). Source apportionment of visual impairment during the California regional PM₁₀/PM_{2.5} air quality study. California, Estados Unidos.
- CONAM. (2006). Estudio de la relación entre calidad del aire y mortalidad, Lima, Perú.

- Contreras Servín. (s.f). Apuntes para la materia de climatología coordinación para la innovación y la aplicación de la ciencia y la tecnología. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
- Corleto, A., Cortez, D. (2012). Comparación de los métodos de Bergerhoff y placas receptoras para la cuantificación de polvo atmosférico sedimentable. Tesis de Pre grado. Universidad de Salvador, Argentina.
- Dedicated axial or radial plasma view for superior speed and performance [Internet]. 2012. Agilent Technologies. [Fecha de acceso 30 Agosto 2015]. Disponible en: <http://www.agilent.com/search/?Ntt=37.%09Dedicated%20axial%20or%20radial%20plasma%20view%20for%20superior%20speed%20and%20performance.%202012>.
- Espinosa Valderrama M, (2005). Caracterización del material particulado en vías de transporte público colectivo y masivo en Bogotá II. Proyecto de grado Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Bogota D.C.
- Faggi et al. (2002). Proyecto: Bioindicadores ambientales de contaminación a lo largo de un gradiente de urbanización en Buenos Aires. Recuperado de http://www.uflo.edu.ar/investigacion/investigaciones/cv_ambientefisico/Bioindicadores%20ambientales_Faggi.doc.
- Fernández (2002). Arboricultura urbana y Medio Ambiente. Recuperado de <http://sanfern.iies.es/Pagina8.html>.
- García Ortega. (2009). Caracterización botánica. Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Grazia M., S. Vaccano, V. Granluigi, R. Vecchi. (2001) —Characterization of PM10 and PM2.5 particulate matter in the ambient air of Milan (Italy)II. Atmospheric Environment. Vol. 35. pp. 4639 – 4650).
- Gunter, R. (2003). Formaciones nubosas y otros fenómenos meteorológicos. Barcelona, España.
- John Wright. (2003). conceptos básicos de química aplicados al medioambiente. Universidad de Leeds, Reyno Unido. 432 p.

- Lin et al (2005). Characteristics of metals in nano/ultrafine/fine/coarse particles collected besides a heavily trafficked road. *Environmental Science and Technology* 39, 8113-8122.
- Linares, J. L. (2005). Listado comentado de los árboles nativos y cultivados. República del Salvador.
- Manzanares P., Arturo Keer Rendón, Marcos Degado R. Y Elías Ramírez E., Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Chihuahua en base a la concentración de contaminantes a nivel de piso, tercer foro estatal Sevilla, Sep-Conacyt, junio 2000.
- Mariano, S. (2002). Tratado de la contaminación atmosférica, problemas, tratamiento y gestión. Madrid, España.
- Moreno, G. y Martínez C. (2004). ***Morus alba*** (Moraceae) como indicador de contaminación ambiental en el área urbana de San Juan, Argentina.
- Moran, D. (1997). *Meteorology the atmosphere and the science of weather*. Upper Saddle River, nueva Jersey.
- Mohanraj R., A. Azeez, T. Priscilla. (2004). Heavy metals in Airborne Particulate Matter of Urban Coimbatorell. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* Vol. 47. pp.162–167.
- Nelson y Nygaard (2006). Traffic reduction strategies study, report and various appendices, city of Pasadena (www.cityofpasadena.net).
- Nowak, D. (1991). La silvicultura urbana, periurbana y cuantificación del impacto ambiental de los árboles. FAO.
- OMS, (2000). Guías para la calidad de aire. Traducido por Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (pp.1-77).
- Pachón Jorge Eduardo, Vela Hugo Sarmiento, (2008). Il Análisis espaciotemporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* N° 43. pp 120-133. Marzo.
- Phocco, M. (2014). Concentración de material particulado menores a 10 micras . Tesis de pre grado. Universidad Nacional del Altiplano, Peru.

- PNUD, (1996). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Recuperado de <http://www.un.org/cyberschoolbus/spanish/cities/eun02txt.htm>.
- Quijano Parra et al (2010). Caracterización fisicoquímica del material particulado fracción respirable PM_{2.5} en Pamplona-Norte de Santander-Colombia.
- Quispe A. (2015). Caracterización química, modelación de la concentración del material particulado (PM₁₀) y plan de gestión ambiental del aire para la ciudad de Puno. Tesis de pre grado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Quispe, R. (2015). Concentración de material particulado menores a 2.5 micrómetros en la para la gestión de áreas verdes en la ciudad de Puno. Tesis Ingeniería Agronómica. UNA – Puno. Puno, Perú. 125 p.
- Roberts, A. (2000). Traducido por Doc. María Hidalgo Mandragón. Manual de control de calidad de aire.
- Sandoval (1989). “Contaminación y contaminantes, aspectos científicos, teóricos y prácticos”.
- Sidney, H., y Coontz (1960). Teorías de la población y su interpretación económica. México: Fondo de Cultura Económica.
- Sistema de Información del Sector Agropecuario (SISA). (2002). 100 pp.
- Sorensen. (1998). Documento de buenas prácticas: Manejo de áreas verdes urbanas. Washington, Estados Unidos.
- Sodeman, D. A., Toner, S. M., & Prather, K. A. (2005). II Determination of single particle mass spectral signatures from light duty vehicle missions. Environmental Science & Technology, 39, 4569–4580).
- Turk et al (1973). Ecología, contaminación, medio ambiente. México: Interamericana. (pp. 83-114).
- Universidad de Chile. (2004). Desarrollo de un sistema de gestión de la vegetación urbana con fines de descontaminación atmosférica y de apoyo a toma de decisiones a nivel municipal. Recuperado de <http://146.83.41.79/extenfor/abril/resumenarburb.htm>.
- Vicent, E., Amparo, L. (2004). Dispersión de contaminantes en la atmósfera. Valencia, España.

ANEXOS

ANEXO 1

PLAN DE GESTION AMBIENTAL DEL AIRE - PGAA, PARA LA CIUDAD DE PUNO

Con los motivos de preocupación con respecto a la calidad del aire en varios sectores de la ciudad, lo cual con el transcurrir del tiempo podría ser fuente significativa de riesgos a la población.

1.1.1 Identificación del problema

De acuerdo a los resultados de Phocco (2014) el PM_{10} , Quispe A. (2015) el Ccaracterización de PM_{10} , Quispe L. (2015) el $PM_{2,5}$, es un contaminante potencial en la ciudad de Puno, es de esperarse asimismo un mayor aumento de la concentración con el creciente desarrollo urbano; sin embargo esto debe comprobarse en monitoreos futuros. De otro lado al no haber más evaluaciones de material particulado en la ciudad, no será posible pronunciarse con mayores detalles.

Causas

La generación de PM_{10} , $PM_{2,5}$, aparte de la formación natural se debe a las actividades antropogénicas mal reguladas, con falta de criterio ambientalista o no hay una buena gestión de calidad del aire, donde las principales causas que generan este contaminante son:

- ❖ Transporte urbano masivo ineficiente.
- ❖ Parque automotor antiguo.
- ❖ Infraestructura vial inadecuada
- ❖ Industria y comercio con tecnología ineficiente.
- ❖ Quema de biomasa.

Contaminantes críticos

Los contaminantes críticos más reconocidos y estudiados son el:

- ❖ Partículas menores a 10 micras " PM_{10} ".
- ❖ Partículas menores a 2,5 micras " $PM_{2,5}$ ".
- ❖ Monóxido de carbono " CO ".

1.1.2 Objetivo del PGAA

Proteger la salud de la población y el ambiente en el área urbana de la ciudad de Puno, previniendo, deteniendo y revirtiendo el proceso de deterioro de la calidad del aire por el PM₁₀, PM_{2.5} en un marco de desarrollo social, económico y ambientalmente sostenible.

1.1.3 Medidas para el PGAA de la ciudad de Puno y prevenir su deterioro del aire

Para el desarrollo de medidas de atenuación o prevención de la contaminación es necesario tener la información actualizada de las fuentes que generen PM₁₀, PM_{2.5} y además el conocimiento de la calidad del aire solo podrá obtenerse a través del funcionamiento de sistemas de monitoreo que de forma continua registren la concentración de los contaminante regulados, para ello es necesario diseñar e implementar un sistema de vigilancia epidemiológica de enfermedades causadas por la contaminación atmosférica. Utilizando herramientas como el software ENVI-met para predecir casos que difícilmente se podría experimentar en un escenario real, en resumen se plantea realizar:

- ❖ Inventario de emisiones.
- ❖ Red de monitoreo de la calidad del aire
- ❖ Estimación del impacto social (estudios epidemiológicos).
- ❖ Modelamiento del comportamiento de los contaminantes atmosféricos.
- ❖ Sistema de información ambiental regional (SIAR).

Medidas políticas

Tomando en cuenta el diagnóstico e identificación de políticas ambientales competencias institucionales se plantea la implementación del Sistema Local de Gestión Ambiental, y el Grupo Técnico de Calidad del Aire; creando soluciones políticas viables con respecto a los actuales paraderos existentes, puesto que permiten una mayor generación de contaminantes en ciertas zonas de la ciudad. Por lo que es necesario establecer paraderos oficiales y conductas a desarrollar

en dichos paraderos por los conductores. Asimismo, para una buena gestión política se plantea además de lo mencionado la:

- ❖ Formulación de ordenanzas, uso de tecnologías con menos emisiones, empleo de fuentes de energía menos contaminantes o que sean renovables.
- ❖ Inclusión del componente de calidad del aire en los planes locales de desarrollo y en las actividades relativas a la planificación urbana.
- ❖ Elaboración de programas de Gestión de Transporte Local orientados al desarrollo de un Sistema de Transporte Urbano Masivo Eficiente.
- ❖ Plan de comunicaciones y conciencia urbana.
- ❖ Establecer la política de generación de áreas verdes de acuerdo a los estándares de ciudades metrópolis.

Medidas administrativas

Identificado las necesidades y vacíos respecto a capacidades que demandará la implementación de las actividades involucradas en el PGAA, se elaborará propuestas de Programas de Desarrollo de Capacidades teniendo en cuenta a las instituciones públicas y/o privadas que pueden participar en la implementación de los Programas. Además, se plantea tomar en cuenta:

- ❖ El fortalecimiento de las instituciones responsables de implementar las medidas del plan de gestión.
- ❖ Promover el cumplimiento de normas voluntarias como ISO 14001.
- ❖ Fomentar los compromisos voluntarios de reducción de emisiones.
- ❖ Supervisar el cumplimiento de normas que preserven la calidad del aire.
- ❖ Acceso a la información.
- ❖ Plan de comunicaciones y conciencia ciudadana.

Medidas técnicas y/o preventivas

Estas medidas inician con las revisiones técnicas de los vehículos teniendo en cuenta que emiten concentraciones de contaminantes menores a los LMP sólo en el momento de la revisión, por lo que es necesario contar con un sistema de fiscalización en vía pública que asegure el mantenimiento de los vehículos y

la menor emisión de contaminantes, adicionalmente al inadecuado mantenimiento de los vehículos, el uso de combustibles menos limpios produce una mayor emisión de contaminantes, por lo que el uso de gas como combustible vehicular permitirá emitir menos contaminantes en el aire.

Además, siendo visible la inadecuada prestación de los servicios de recolección y disposición final sanitariamente adecuada de los residuos en la ciudad de Puno, que permite la acumulación de residuos sólidos en las vías públicas que luego son quemados por la población, asimismo la presencia de botaderos de residuos en diferentes lugares con actividades de quema de residuos, generan volúmenes de contaminantes que deterioran aún más la calidad del aire de la ciudad de Puno. La falta de áreas verdes en la ciudad de Puno permite que la acción de los vientos erosione los suelos y de esta manera exista una emisión natural importante de PM_{10} , $PM_{2.5}$ el incremento de las áreas verdes permitirá disminuir esta emisión de partículas, asimismo ayudara a una mejor oxigenación de la ciudad. De acuerdo a la OMS el índice per cápita mínima de vegetación es de $9m^2/habitante$. Con la forestación de 0,0645 hectáreas libres de la Ciudad de Puno, se estaría dando inicio a un mejor bienestar creando así un programa de incentivos tributarios locales a personas y/o jurídicas que contribuyan con el mejoramiento de la calidad natural del aire, agregando a estas medidas técnicas y/o preventivas se plantea también:

- ❖ Incorporar en el plan de transporte de la ciudad, las medidas y recomendaciones propuestas.
- ❖ Implementación de las normas técnicas.
- ❖ Elaborar una estrategia para limitar el incremento de taxis, basada en el reglamento nacional de transporte.
- ❖ Plan de comunicaciones y conciencia ciudadana.
- ❖ Reducción de emisiones de las fuentes puntuales.
- ❖ Elaborar un listado de los LMP para emisiones.
- ❖ Fomentar el uso de combustibles con menos concentración de azufre.
- ❖ Fomentar la implementación del Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS).

- ❖ Reducción de emisiones de las fuentes aéreas.
- ❖ Fomentar buenas prácticas ambientales en ladrilleras artesanales.
- ❖ Reducción de polvo.
- ❖ Controlar el polvo generado por la construcción.
- ❖ Controlar el polvo generado por el tráfico vehicular.
- ❖ Forestación urbana a través de *Malva sylvestris* y *Cytisus canariensis*

Medidas sociales

El desarrollo de un plan de mejoramiento de la calidad de aire debe ir acompañado de un programa de educación y sensibilización de la población de tal forma que haga sostenible en el tiempo, y a la vez permita un involucramiento de la población de Puno realizando acciones como:

- ❖ Sensibilizar a la opinión pública y fomentar cambios de conducta.
- ❖ Establecer una estrategia de comunicación y conciencia ambiental en todos los niveles de la población.
- ❖ Impulsar la participación sostenible de la población en las medidas del plan.

1.1.4 Contexto Legal

De acuerdo a lo establecido por el CONAM para el PGAA queda establecido el:

- ❖ DS 074-2001-PCM “Reglamento Nacional de ECA”

1.1.5 Sistema local de gestión ambiental de Puno

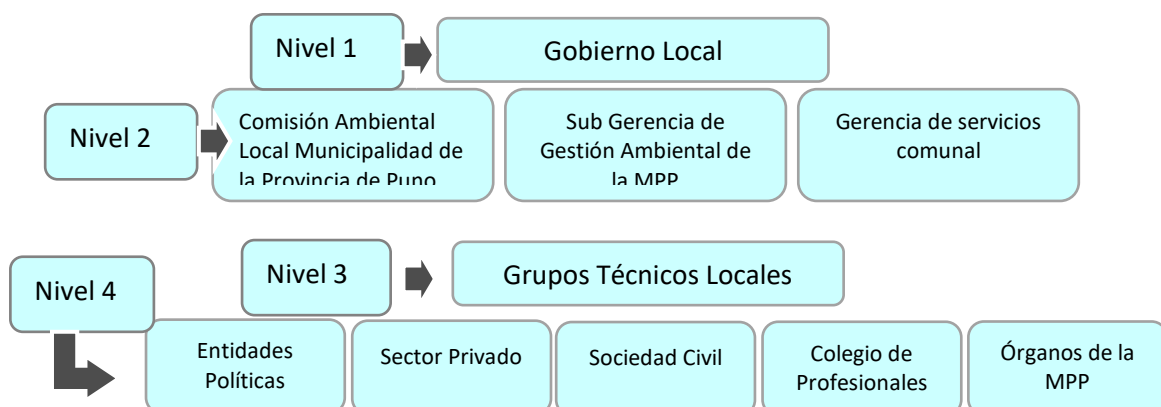


Figura 1. Sistema local de gestión ambiental

1.1.6 Conformación del grupo técnico de calidad del aire - Gesta Zonal del Aire – Puno

De acuerdo al contexto legal DS 074-2001-PCM, para garantizar el grupo técnico de la gesta zonal del aire este se constituirá con no menos de 11 ni más de 20 representantes de instituciones, en este apartado se plantea la conformación de los representantes:

1. Municipalidad Provincial Puno
2. Ministerio del Ambiente.
3. Gobierno Regional Puno.
4. Gerencia Regional de Salud.
5. Instituto Nacional de Defensa Civil.
6. Gerencia Regional de Agricultura.
7. UNA-PUNO
8. UNAJ
9. Gerencia Regional de Educación.
10. Gerencia Regional de Transportes y Comunicaciones.
11. Cámara de Comercio y Producción Puno.
12. Gerencia Regional de Energía y Minas.
13. Fiscalía Provincial de Prevención del Delito
14. Operadores de Transporte
15. SENAMHI
16. INDECOPI
17. INADUR
18. IMARPE
19. Guardacostas de la Marina de Guerra del Perú

1.1.7 La Forestación en el PGAA de la ciudad de Puno

Se propone desarrollar un mecanismo de compensaciones a través de proyectos de forestación urbana como instrumento de política pública para el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de los centros urbanos.

Respondiendo 5 preguntas:

a) Qué

El PGAA debiera consistir en una iniciativa en virtud de la cual la autoridad pone a disposición de los particulares una cartera numerosa de terrenos urbanos con sus correlativos proyectos de forestación y permisos sectoriales previamente aprobados.

b) Quiénes

Desde el punto de vista de la autoridad, por su carácter intersectorial, se sugiere radicar el PGAA en el Consejo de Regional y Provincial para la Sustentabilidad. Estos consejos son presididos por el Gerente Regional de Recursos Naturales y Medio Ambiente e integrado por los Gerentes de Medio Ambiente y Servicios de la Municipalidad Provincial de Puno, así como los de Agricultura, Salud, Economía, Energía y Minas, Obras Públicas, Desarrollo Urbano, Transportes y Telecomunicaciones. La gran mayoría de estas carteras tendrían directa relación con el Programa de Compensación mediante Forestación Urbana (PCFU) y dentro de las atribuciones y facultades del consejo se encuentra proponer al Presidente de la Región políticas para el manejo, uso y aprovechamiento sustentables de los recursos naturales renovables, como, asimismo, criterios de sustentabilidad que deben ser incorporados en la elaboración de las políticas y procesos de planificación de los organismos competentes, así como en la de sus servicios dependientes y relacionados.

El PCFU debiera ser liderado por la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Medio Ambiente, cuyo objetivo es el diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental. Éste, a través del servicio de evaluación ambiental debiere interactuar con el resto de las autoridades convocadas a la reunión de gerentes encargados de la parte ambiental para la sustentabilidad y con las empresas que podrían estar interesadas en realizar forestaciones urbanas como método de compensación.

Dentro de los interesados en la cartera de proyectos del PCFU se vislumbran, en primer lugar, empresas privadas obligadas a compensar, las

cuales hoy buscan certeza económica respecto de sus costos y seguridad jurídica. Entre tales empresas encontramos titulares de nuevas fuentes emisoras contaminantes y aquéllas que buscan ampliar fuentes existentes, que requieren compensar sus emisiones para obtener la aprobación de sus proyectos por el Servicio de Evaluación Ambiental o porque así se los exige algún plan de descontaminación atmosférica. Adicionalmente, también estarán las empresas que requieren talar bosque nativo, que pueden asumir compromisos de regeneración o reforestación como medidas de compensación o reparación. Por último, se estima que empresas concesionarias de infraestructura pública pudieran tener incentivos de validar sus proyectos de concesiones de áreas verdes a través del PCFU, de modo de obtener créditos que pudieran servirles a la misma empresa para hacer frente a obligaciones de compensación por emisiones o tala de bosque nativo o a terceros interesados en adquirir estos créditos en un mercado secundario.

c) Dónde

Las forestaciones que se han de ejecutar como método de compensación de emisiones contaminantes se ubicaran en la periferia de la ciudad, debido a que los requisitos que se les exige no son posibles de cumplir al interior de la misma. Estas exigencias se basan en el supuesto de que una tonelada de PM_{10} es capturada por 2,15 hectáreas de árboles (Vargas, 2011). Estos criterios deben ser modificados de modo de permitir forestaciones urbanas en áreas tales como: cesiones de terrenos que los particulares deben realizar con ocasión de nuevas urbanizaciones; desafeción de supuestos parques y áreas verdes que la realidad indica corresponden más bien a áreas café (contaminados), ya sea porque nunca se construyeron o porque corresponden a parques deteriorados por el paso del tiempo y mala mantención; futuras áreas verdes a ser entregadas a los particulares bajo un modelo de concesiones.

Al usar la fórmula para estimar emisiones de PM_{10} (Tabla 1), como forma práctica de estimar el material particulado tenemos:

Tabla 1

Modelos mecánicos de emisión para estimar emisiones de fuentes de polvos fugitivos

PARA CALLES SIN PAVIMENTAR	PARA CALLES PAVIMENTADAS
<p>$E = VKT \times EF$ dónde: E = Tasa de emisión promedio anual como masa, (kg/año). VKT = Kilómetros vehículo recorridos, (VKT/año) EF = Factor de emisión, kg/VKT</p>	<p>$E = VKT \times EF$ donde: E = Tasa de emisión anual promedio en masa, (g/año); VKT = Kilómetros vehículo recorridos, (VKT/año); EF = Factor de emisión, g/VKT.</p>
<p>$EF = k(1.7)(s/12)(S/24)(W^{0.7}/2.7)(w^{0.5}/4)(1-p/365)$ donde: k = Multiplicador del tamaño de partícula, adimensional s = Contenido de sedimentos del material de recubrimiento del camino, % S = Velocidad promedio del vehículo, km/he W = Peso medio del vehículo w = Número medio de ruedas p = Número de días al año con una precipitación mínima de 0.254 mm (0.01in).</p>	<p>$EF = k(sL/2)^{0.65}(W/3)^{1.5}$ donde: k = Factor de emisión de base para el intervalo de tamaño de partícula (g/VKT) sL = Carga de sedimentos de la superficie del camino (g/m) W = Peso promedio (tons) de los vehículos que transitan por el camino.</p>

Fuente: AP-42, Sección 13.2 (U.S. EPA, 1995a).

Teniendo en cuenta que para el sector de transporte publico las variables aproximadas son:

Para calles sin pavimentar (caso hipotético)

VKT = 119720 VKT/año (promedio con horas de trabajo desde las 05:30 am – 21:30 pm)

k = 0, 36

$$s = 20 \%$$

$$S = 22 \text{ km/hr.}$$

$$W = 2700\text{-}3000 \text{ kg (camioneta rural) promedio } 2800\text{Kg} = 2,8\text{mg}$$

$$w = 4, \quad p = 69$$

Los factores de emisión para este tipo de vehículo es el siguiente:

Vehículos livianos camioneta rural (Combi) 34562 kg/km- veh = 3,45 toneladas

Teniendo una frecuencia estimada de 31,566 viajes anuales para vehículos livianos y una extensión de camino no pavimentado de 20 km. se tiene como resultado:

- ❖ Para vehículos livianos se estima una emisión de 3,45 toneladas al año de PM_{10}

En total, las emisiones por tránsito de vehículos por el tramo no pavimentado de calle se estiman en 3,45 toneladas al año de material particulado. (Calles no pavimentado)

Para calcular las emisiones de PM_{10} una vez asfaltado el tramo se tiene que el factor de emisión para los vehículos es:

$$VKT = 119720 \text{ VKT/año (promedio con horas de trabajo desde las 05:30am – 21:30pm)}$$

$$k = 4,6 \text{ g/VKT}$$

$$sL = 0,03 \text{ g/m}^2$$

$$W = 2,8 \text{ tons}$$

Para vehículos livianos 32392 g/km-veh

Con una carga de finos (g/m^2) de 0,03 como promedio del flujo vehicular en toda la ciudad de Puno y constante de coeficiente de partícula de 4,6 para PM_{10} .

Dando como resultado las siguientes emisiones, al ser calculado con los mismos datos de cantidad de viajes por tipo de vehículo y extensión del camino:

❖ Para vehículos livianos se estima una emisión de 0,03 ton/año de PM₁₀. Esto da un total de 0,03 ton/año de material particulado (caso mecanísticamente práctico), con lo que se disminuye en 3,42 toneladas anuales (en comparación con el caso hipotético, si las calles de la ciudad de Puno no estarían pavimentadas).

Con la compensación de 0,03 ton/año con la forestación de las 0,0645 hectáreas libres de la ciudad de Puno, se estaría dando inicio a un mejor bienestar de los habitantes de la ciudad.

c) Para qué

(i) Reducir la temperatura atmosférica que es exacerbada por la irradiación de calor que produce el pavimento, efecto que produce bienestar en los habitantes y contribuye a reducir los costos energéticos derivados de los sistemas de climatización, (ii) mejorar la infiltración y captura de las aguas lluvia evitando las inundaciones y escorrentías, (iii) proporcionar una mejor calidad de vida al mejorar la estética de la ciudad y crear áreas de descanso y (iiii) captura de carbono para mitigar los impactos negativos del cambio climático.

Sin embargo, al realizar una forestación urbana se debe asumir que cada hectárea tendrá una menor densidad de árboles y, por lo tanto, producirá una menor captura de material particulado, lo que hace necesario cuantificar los beneficios anteriormente mencionados para poder establecer una medida compensatoria.

d) Cómo

Una forestación urbana exitosa exige diferentes parámetros de plantación que una forestación rural. Porque en la ciudad estos espacios deben ser

accesibles para el público, lo que implica menor densidad arbórea y diversas características de las especies y de su posterior manejo.

La elección de los ejemplares a plantar es otra cosa que se debe tener en cuenta: El medio urbano es un medio adverso para la vegetación; la sobrevivencia y establecimiento de las especies jóvenes es muy difícil de conseguir, por esto, es indispensable que los árboles que se planten en parques y avenidas deben ser árboles de al menos dos metros de altura, de tronco lignificado con un diámetro no inferior a doce centímetros, formados y guiados estructuralmente para que se adapten a las exigencias de la ciudad. En la ciudad las características de un sistema de riego requieren acomodarse a situaciones adversas: en el caso de un riego automatizado, la tubería deberá ser subterránea para permitir el tránsito y se deberá emplear insumos que sean poco vulnerables al vandalismo. Además, la permanencia del riego debe extenderse hasta la adultez del árbol, a diferencia de lo que se exige hoy, donde el riego es necesario hasta alcanzar un cierto nivel de sobrevivencia de especies en un período determinado. La preparación del terreno es otro punto importante a considerar, ya que al interior de las ciudades éstos están generalmente muy deteriorados, tienen bajo nivel de material vegetal, hay problemas de desnivelación, compactación y, en muchos casos, presencia de escombros y elementos contaminantes.

Para asegurar la sobrevivencia de las especies y permitir que los espacios sean accesibles al público deben solucionarse los problemas del suelo y hacer una preparación adecuada. El tema de la mantención posterior es clave: los árboles de la ciudad requieren de un trabajo semi-intensivo, ya que es indispensable guiar el crecimiento de las especies para que se adecúen al uso que se hace del espacio. También se deberá aceptar que el área utilizada para compensar esté fraccionada en diferentes lugares, ya que es difícil encontrar grandes extensiones de zonas clasificadas como áreas verdes al interior de una ciudad.

Si la norma para compensar se basa exclusivamente en el número de árboles y, además, se aplican los requisitos antes mencionados, los proyectos de forestación urbana tendrán un costo muy superior al que tienen los proyectos periurbanos actuales, lo que hará muy difícil que alguien opte por este método. Es por esto que al realizar una forestación urbana se debe asociar un beneficio mayor por árbol, que compense el costo que se le asocia, lo que se traducirá en proyectos de menor utilización espacial, pero de nuevos beneficios para la población.

Otro de los grandes problemas que presentan las forestaciones construidas como medidas compensatorias es la falta de fiscalización. El problema radica en que éstas se ubican en sectores muy apartados y abarcan grandes superficies, lo que hace muy costoso llegar hasta ellas y evaluar su comportamiento.

Al realizar forestaciones urbanas se soluciona este problema, ya que un requisito de éstas será su ubicación en centros poblados y también el tamaño de la forestación.

Sin embargo, una fiscalización no asegura que la calidad de lo que se plante sea lo adecuado. Una propuesta para que sí sea así, es la de utilizar organismos certificadores que cumplan básicamente dos funciones: certificar la calidad de los árboles que se plantarán y certificar la ejecución de los proyectos.

Promover la compensación como una herramienta económica que potencie el desarrollo de una política sustentable de forestación urbana, debería ser el punto de partida para crear un plan serio de desarrollo de incorporación de arbolado para las ciudades. Las condiciones están, los compromisos están. “Un Puneño, un árbol”.

PANEL FOTOGRÁFICO



Imagen 1. *Cytisus canariensis*



Imagen 2. *Malva sylvestris*



Imagen 3. Georreferenciación de puntos de muestreo *Malva sylvestris*



Imagen 4. Georreferenciación de puntos de muestreo *Cytisus canariensis*



Imagen 5. Instalación de trampas de muestreo



Imagen 6. Instalación de trampas de muestreo



Imagen 7. Muestreo, para cálculo de permanencia de *Cytisus canariensis*



Imagen 8 Muestreo, para cálculo de permanencia de *Malva sylvestris*



Imagen 9. Medición de altura y diámetro de *Malva sylvestris*



Imagen 10. Medición de ramas y conteo de hojas en *Cytisus canariensis*



Imagen 11. Recolección de hojas caídas en trampa *Malva sylvestris*



Imagen 12. Recolección de hojas caídas en trampa *Cytisus canariensis*



Imagen 13. Adsorción de material particulado por *Malva sylvestris*



Imagen 14. Lavado con agua destilada, el material particulado adsorbido por *Malva*



Imagen 15. Adsorción de material particulado por *Cytisus canariensis*



Imagen 16. Lavado con agua destilada, el material particulado adsorbido por *Cytisus*



Imagen 17. Preparación de muestras para equipo Microwave Reaction System



Imagen 18. Colocación de muestras a Microwave Reaction System

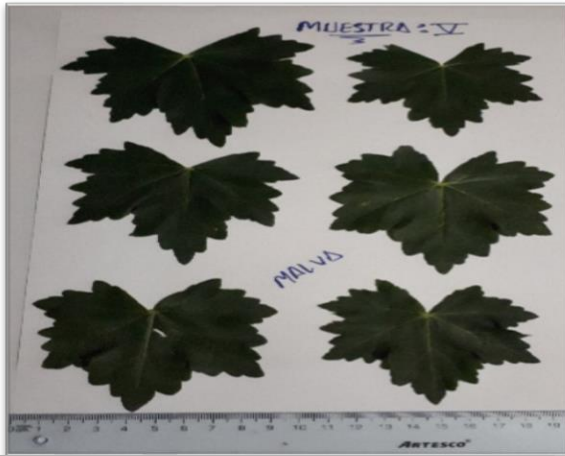


Imagen 19. Determinación de área foliar en *Malva sylvestris*

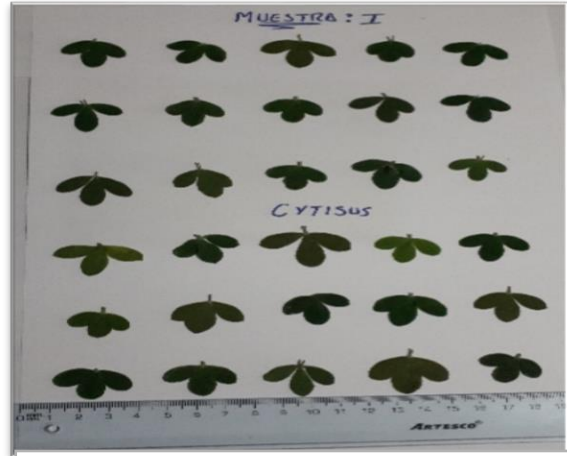


Imagen 20. Determinación de área foliar en por *Cytisus canariensis*



Imagen 21. Microwave Reaction System (para homogenizar muestras)

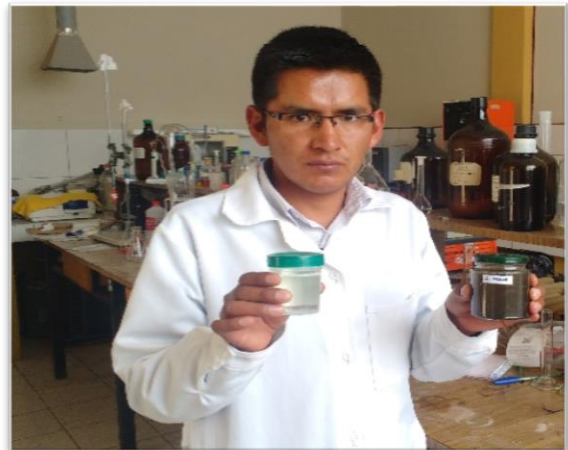


Imagen 22. Comparación de muestras después de homogenizar muestras



Imagen 23. Preparación de muestras para análisis de metales en ICP-OES



Imagen 24. Análisis de metales en ICP-OES



Imagen 25. Filtración de muestras para determinar sólidos suspendidos totales



Imagen 26. Desección de muestras en equipo Memmert (deseccador)



Imagen 27. Pesado de filtros y muestras en Balanza analítica



Imagen 28. Preparación de muestras para determinar sulfatos

CONSTANCIA DE LABORATORIO

**MAPA DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO DE ADSORCIÓN DE
MATERIAL PARTICULADO**

MAPA DE ÁREAS VERDES ACTUALES EN LA CIUDAD DE PUNO