

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización en
Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental**



**“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE
MATERIAL PARTICULADO EN EL AIRE EN UNA ESPECIE
ARBÓREA *Schinus terebinthifolius* Y UNA RASTRERA *Aptenia
cordifolia* EN EL CONDOMINIO LA QUEBRADA - CIENEGUILLA”**

Presentado por:

Joel Giovanni Chipoco Sánchez

Frangi Valencia Rodríguez

Trabajo de Titulación para Optar el Título de:

INGENIERO FORESTAL

**LIMA - PERÚ
2015**

INDICE GENERAL

RESUMEN

II.	INTRODUCCIÓN.....	1
III.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1.	ANTECEDENTES	3
3.2.	ECOSISTEMA URBANO.....	5
3.3.	CONTAMINACIÓN DEL ECOSISTEMA URBANO.....	6
3.3.1.	Material Particulado	7
3.3.2.	Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS)	8
3.3.3.	Fuentes de contaminación	9
3.4.	EFFECTOS NEGATIVOS DE CONTAMINANTES SEDIMENTABLES...	140
3.4.1.	Efecto en la atmósfera	11
3.4.2.	Efecto en los seres humanos	11
3.4.3.	Efecto en las plantas	12
3.4.4.	Efecto en las construcciones	12
3.5.	CALIDAD DE AIRE EN LIMA METROPOLITANA	13
3.6.	PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LIMA	15
3.7.	NORMAS NACIONALES	16
3.8.	NORMAS INTERNACIONALES	17
3.9.	CONDICIONES RELACIONADAS CON LA CONTAMINACIÓN	17
3.9.1.	Viento	18
3.9.2.	Temperatura y altitud	19
3.9.3.	La precipitación	19
3.10.	RETENCIÓN DE PARTÍCULAS SEDIMENTABLES	20
3.10.1.	Características de la hoja relacionadas a la retención de partículas	20
3.11.	PANTALLAS, CORTINAS VEGETALES Y SEDIMENTACIÓN.....	21
3.12.	GESTIÓN URBANÍSTICA.....	23
3.13.	MÉTODO DE MEDICION DE CONTAMINANTES SÓLIDOS.....	24
3.13.1.	Método de “placas receptoras”	24

3.14.	ANÁLISIS DE DATOS	25
3.15.	DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES A EVALUAR.....	30
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
4.1.	MATERIALES	32
4.1.1.	Equipos	32
4.1.2.	Materiales de laboratorio	32
4.2.	METODOLOGÍA	33
4.2.1.	Tipo de estudio	33
4.2.2.	Lugar.....	29
4.2.3.	Selección del área de estudio	30
4.2.4.	Selección de especies	31
4.2.5.	Determinación de la capacidad de adsorción de material particulado	35
4.2.6.	Concentración de PAS en el Ambiente – Placas Receptoras	36
V.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	38
5.1.	CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO	38
5.2.	TIEMPO DE VIDA DE LAS HOJAS	43
5.3.	NUMERO TOTAL DE HOJAS	48
5.4.	CONCENTRACION DE PAS EN EL AMBIENTE.....	50
5.5.	DATOS METEOROLÓGICOS.....	51
5.6.	LIMITANTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	55
VI.	CONCLUSIONES.....	56
VII.	RECOMENDACIONES	58
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	59
IX.	GLOSARIO	63
X.	ANEXOS	66
	ANEXO N° 01.....	67
	ANEXO N° 02.....	68
	ANEXO N° 03.....	80
	ANEXO N° 04.....	83
	ANEXO N° 05.....	88
	ANEXO N° 06.....	91
	ANEXO N° 07.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Valores máximos se PAS durante cada estación del año 2004, Zonas Críticas Lima y Callao	14
Tabla N° 02: Límites máximos permisibles por DIGESA Y SENAMHI según metodología empleada.	16
Tabla N° 03: Estándares de Contaminante Sedimentable por países	17
Tabla N° 04: Promedios de material particulado por superficie de las especies <i>Schinus terebinthifolius</i> y <i>Aptenia cordifolia</i>	38
Tabla N° 05: Análisis estadístico de los resultados de Material particulado obtenido en hojas de ambas especies	39
Tabla N° 06: Resumen de resultados obtenidos de Molle y Aptenia en mg/cm ² /30d	40
Tabla N° 07: Resultado promedio de molle costeño y aptenia del análisis estadístico	40
Tabla N° 08: Promedio final de MP en <i>Schinus terebinthifolius</i> y <i>Aptenia cordifolia</i> expresado en mg/cm ² /30d	41
Tabla N° 09: Tiempo de permanencia de foliolos de la especie Molle costeño	43
Tabla N° 10: Número total de foliolos promedio por rama en Molle costeño	44
Tabla N° 11: Número total promedio de foliolos por individuo en la especie Molle costeño	45
Tabla N° 12: Cantidad de PAS retenido en las placas de vidrio	46
Tabla N° 13: Valores de Q crítico según el porcentaje de confianza y el Número de Observaciones – Prueba de Dixon	46
Tabla N° 14: Relación de Q experimental calculados para los resultados de masa de Material Particulado en placas receptoras	47
Tabla N° 15: Resultado del análisis estadístico para la determinación de diferencia significativa	49
Tabla N° 16: Datos promedio de Temperatura, Precipitación y Humedad relativa tomados de estación Davis Vantage Pro 2.	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01: Distribución de partículas según diámetro aerodinámico en μm .	9
Gráfico N° 02: Evolución del viento ante pantallas de diferente permeabilidad	22
Gráfico N° 03: Área de muestreo en el condominio La Quebrada	30
Gráfico N° 04: Material particulado promedio obtenido en hojas de Molle y Aptenia	42
Gráfico N° 05: Masa de Material Particulado obtenidos en placas de vidrio	50
Gráfico N° 06: Variante de la temperatura promedio ($^{\circ}\text{C}$) con respecto al mes de febrero del 2014 medido con estación Davis Vantage Pro 2.	52
Gráfico N° 07: Variante de la humedad relativa promedio (H.R%) con respecto al mes de febrero del 2014, medido con estación Davis Vantage Pro 2.	53
Gráfico N° 08: Variante de la velocidad del viento promedio (m/s) con respecto al mes de febrero del 2014, medido con estación Davis Vantage Pro 2.	53
Gráfico N° 09: Rosa de vientos - estación Davis Vantage Pro 2	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N°1. informacion Del Adherente, Vaselina Solida	66
ANEXO N°2. Fotografías	67
ANEXO N°3. Metodología Usada Según El Stándard Methods For The Examination Of 4. Water And Wastewater	80
ANEXO N°4. Resultados De Material Particulado En Placas Y Hojas	83
ANEXO N°5. Resultados Obtenidos En La Estimación Del Numero De Foliolos Por Individuo	88
ANEXO N°6. Cálculo De Área Superficial De Hojas De Aptenia Cordifolia Y Schinus Terebinthifolius	91
ANEXO N°7. Prueba T – Student Para Comparación De Dos Medias Experimentales	103

I. RESUMEN

La presente investigación consistió en la determinación de la capacidad de adsorción de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en las especies *Schinus terebinthifolius* (molle costeño) y *Aptenia cordifolia* (señorita), ubicado en el condominio La Quebrada, Cieneguilla, en Lima, cuyos resultados se dieron mediante una metodología validada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) denominada “placas receptoras”. En este trabajo experimental se ubicaron 13 puntos de monitoreo los cuales fueron evaluados de acuerdo a los factores que influyen en la medición: velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa. Los resultados del monitoreo de concentración de PAS se compararon con los límites máximos permisibles (LMP), establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que es 0.5 mg/cm²/mes. Como consecuencia del análisis de medición se obtuvieron los siguientes valores: el *Schinus terebinthifolius* adsorbió 1.18 mg/cm²/30d de material particulado, mientras que la *Aptenia cordifolia*, adsorbió 0.71 mg/cm²/30d. Además, el Schinus y la Aptenia superaron el límite de la OMS de 0.5mg/cm²/mes, en 74.82%, seguido de la superficie con Aptenia (82.82 %) y la superficie sin cobertura vegetal (136.86%). En síntesis, un sistema conformado por una cobertura mixta entre *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia* fue más eficiente en cuanto a captura y retiro de PAS del aire, con lo cual se reafirma la importancia de la cobertura vegetal en el establecimiento de modelos urbanísticos sustentables.

II. INTRODUCCIÓN

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 es responsable de 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 que 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 este contaminante resulta 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. La OMS establece el PAS, como parámetro de evaluación, que permite determinar la calidad del aire.

En relación a este problema ambiental, parte de las funciones que cumplen los 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. Muestra de esto, según cifras del INEI para el año 2008, en Lima Metropolitana los distritos con mayor índice de área verde son los residenciales de clase media alta y balnearios de Lima Sur, mientras que los distritos con menor índice son los que surgieron de la ocupación espontánea como Cieneguilla y San Juan de Lurigancho, este último siendo el distrito más poblado de Lima cuenta con 0.3 m² de área verde/ hab., inferior a lo establecido por la OMS que es 8 m²/hab.

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 tuvo por objetivo determinar la capacidad de adsorción de material particulado de las especies *Schinus terebinthifolius* (molle costeño) y *Aptenia cordifolia* (señorita) ubicadas en el condominio La Quebrada, Cieneguilla, en Lima. Además, se analizó el impacto que tienen dichas especies en la concentración de material particulado en el ambiente realizando la comparación de la cantidad de PAS en tres superficies diferenciadas por su cobertura.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. ANTECEDENTES

El problema de contaminación por PAS ha sido un tema de relevancia para muchos países en cuanto a la calidad ambiental de las urbes. Muestra de ello, en países de Sudamérica se han realizado diversos estudios y proyectos relacionados a la calidad del aire y la influencia de áreas verdes urbanas en relación a este problema. En el ámbito local se han realizado diversos estudios acerca de la contaminación por PAS, sin embargo el beneficio ambiental de áreas verdes urbanas en relación a este problema no ha sido tema relevante para nuestro país.

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.

Además de este programa, el SENAMHI ha publicado en su página web oficial un estudio ambiental denominado: “Análisis de la relación entre el comportamiento estacional de los contaminantes sólidos sedimentables con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona metropolitana de lima-callao durante el año 2004”. Como resultados de este estudio se encontró que uno de los principales centros

de acumulación de este contaminante son los distritos de Comas con 37,5 t/km²/mes, Independencia con 30,6 t/km²/mes, Villa el Salvador y Villa María del Triunfo con 25 t/km²/mes, además concluyen que estos valores varían dependiendo de estación, en verano mayor que invierno, debido principalmente a la inversión térmica que modifica la dispersión de contaminantes, siendo el principal agente dispersor el viento. Concluyen también que las principales fuentes de contaminación son atribuidas a la intensa actividad vehicular, actividades comerciales, emisiones fugitivas de complejos industriales, botaderos de basura, quema de residuos sólidos, déficit de áreas verdes y baja conciencia ambiental de la población.

Un ejemplo 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 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 con las cuales aumentar la forestación. Esta investigación hace mucho énfasis en el beneficio ambiental que traen las áreas verdes urbanas.

3.2. ECOSISTEMA URBANO

El término de ecosistema ha sido relacionado generalmente con la naturaleza, sin embargo, debido a las implicaciones medioambientales que tienen las ciudades y el auge de concepto de desarrollo sostenible de las mismas ha llevado a incluirlas dentro las listas de Ecosistemas 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 2700 millones de personas convirtiéndose en los espacios más importantes del planeta en materia de bienestar, productividad e impacto ecológico ambiental (Carranza, 2013).

Habiendo conceptualizado el término “Ecosistema Urbano”, es necesario mencionar la importancia de uno de sus elementos, las áreas verdes urbanas, debido a las implicancias que poseen dentro de la calidad ambiental de este ecosistema. Smith (1990) menciona que la importancia de las áreas verdes y su valor ecológico radica en purificar el aire de la ciudad y permitir la recarga del manto acuífero dependiendo de su ubicación, además facilita la conexión del habitante con la naturaleza, regula el clima, mejora la calidad del aire, representa un hábitat para la fauna silvestre, mejora el clima local, modula la velocidad del viento, mitiga el calor de la superficie de los cuerpos, reduce los ruidos molestos y mejora la calidad de vida del entorno.

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 para combatir este fenómeno. 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 (Nowak, 1996).

Cabe resaltar que poco o nada se menciona sobre el beneficio ambiental de áreas verdes con respecto a la concentración de PAS en el aire. Sin embargo, uno de los beneficios mencionados en párrafos anteriores es el de reducir la velocidad del viento, agente principal de dispersión de PAS, lo cual provocará un efecto sobre la concentración de los mismos que será discutido en párrafos posteriores.

3.3. CONTAMINACIÓN DEL ECOSISTEMA URBANO

Este ecosistema urbano ha experimentado 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).

Este rápido crecimiento ha originado un incremento de las actividades antropogénicas provocando una serie de deficiencias dentro de la urbe, siendo una muy importante de remarcar, el incremento de la contaminación ambiental local. Muestra de esto Carter (1996) menciona que en muchas ciudades del tercer mundo, las concentraciones y mezclas de contaminantes atmosféricos ya son lo suficientemente

altos como para provocar enfermedades en los individuos susceptibles y muertes prematuras entre la población de edad avanzada, especialmente entre los que padecen problemas respiratorios.

En el caso de Lima Metropolitana, este rápido crecimiento no ha sido acompañado de un ordenamiento territorial adecuado en relación a áreas verdes urbanas, esto sumado a los factores climáticos naturales de permanente aridez de la costa peruana donde se ubica geográficamente la capital, han ocasionado que la calidad del aire se haya convertido en uno de los mayores riesgos para la salud de la población, todo esto en referencia al Material Particulado, que según la OMS (2000) es uno de los contaminantes más abundantes del aire y que aún en mínimas concentraciones causa a corto y largo plazo una disminución de la función pulmonar lo que ocasiona la presencia de enfermedades crónicas respiratorias y muertes prematuras. Este problema no es ajeno al ámbito local, según datos del año 2003 del MINSA, la primera de las 10 principales causas de atención hospitalaria en Lima - Callao corresponde a las infecciones respiratorias agudas.

3.3.1. Material Particulado

Siendo la contaminación por partículas un problema actual local según el último boletín emitido por el SENAMHI para el mes de septiembre 2014, es importante tener un concepto establecido de este agente contaminante. Según Roberts (2000), el material particulado tiene una gran variabilidad en forma y tamaño, pudiendo ser desde pequeñas gotas de líquido a partículas microscópicas de polvo, cada una con su propio conjunto de propiedades físicas y químicas; Además menciona que este contaminante es emitido de una gama amplia de fuentes, que incluyen combustión, minería y construcción, así como tormentas de viento.

Según la OMS (2000), estas partículas incluyen partículas totales en suspensión (PTS), MP10 (partículas con diámetro aerodinámico mediano menor de 10 μm), MP2,5 (partículas con diámetro aerodinámico mediano menor de 2,5 μm), partículas finas y ultra finas, escape de diesel, ceniza del carbón, polvos minerales (carbón, asbesto, piedra, caliza, cemento), polvos metálicos, humos, partículas de fluoruro, pigmentos de pintura, partículas de plaguicidas, carbón negro, etcétera. 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 PM10, PM2.5.

De esta amplia gama de contaminantes que pertenecen al Material Particulado existen una fracción de partículas denominadas gruesas, con diámetros aerodinámicos mayores de 2,5 μm , compuestas principalmente de tierra y ceniza mineral que se dispersan mecánicamente en el aire y cuyas concentraciones se equilibran mediante dispersión, mezcla con masas de aire y sedimentación gravitacional (OMS, 2000).

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.

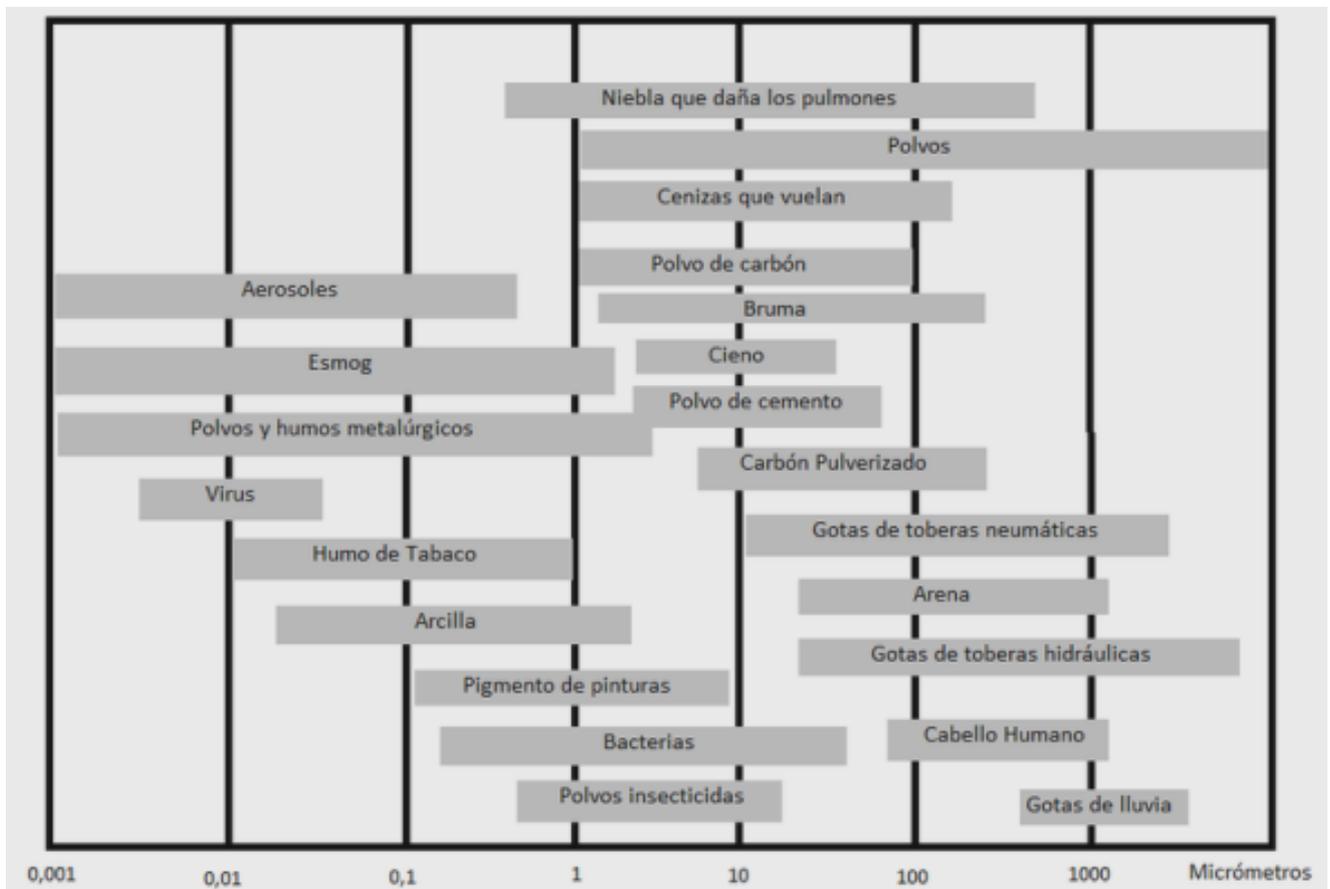
3.3.2. Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) o Contaminante Sólido Sedimentable (CSS)

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.

Este contaminante puede estar compuesto por muchas partículas diferenciadas por su tamaño, fuente de emisión, pero con algunas características similares. Según Sandoval (1989) el tamaño, distribución de tamaños, forma,

densidad, adhesividad, corrosividad, reactividad y toxicidad son características comunes de estas partículas. La siguiente figura muestra la distribución de partículas según su naturaleza y rango de diámetro.

Gráfico N° 01: Distribución de partículas según diámetro aerodinámico en um.



Fuente: Sandoval, 1989

3.3.3. 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).

Es necesario conocer los efectos que genera este contaminante, en el medio que lo rodea, para tener una perspectiva amplia de los beneficios que se obtendría si es que se lograra reducir su concentración en el aire.

3.4. EFECTOS NEGATIVOS DE LOS CONTAMINANTES SEDIMENTABLES

Antes de listar los efectos negativos de estos contaminantes, es importante resaltar algunos efectos benéficos. Según Mariano (2002), polvo presente en el aire puede actuar en forma beneficiosa sobre los líquenes, puesto que es una de sus fuentes alimenticias al depositarse sobre el talo y nutrirse la planta de él por su contenido en fosfatos y nitratos, también ciertas algas microscópicas puede verse favorecidas ya que se alimentan de los nutrientes del polvo disuelto en el agua de lluvia. Además existen algunos vegetales más evolucionados, como ciertas farinóseas aéreas, son capaces de tomar el polvo y el agua de lluvia en sus hojas y asimilarlo directamente.

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 efectos negativos que genera este contaminante, se detallarán en los siguientes párrafos según el medio, objeto o ser vivo al que afectan.

3.4.1. 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.

3.4.2. Efecto en los seres humanos

Según la OMS (2000), los efectos del MPS (material particulado suspendido) 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, emfisema pulmonar o asma) y síntomas desfavorables generales e irritaciones.

Estos efectos en el sistema respiratorio se deben a que, según Mariano (2002) las partículas muy pequeñas, y aerosoles que puedan formar, pueden penetrar hasta las zonas más profundas de los pulmones provocando las afecciones mencionadas. Al respecto, Turk (1973) menciona que las partículas grandes son filtradas por los pelos del conducto nasal y la tráquea, otras se precipitan hacia los pulmones, otras son interceptadas también por pelos finos que tapizan las paredes de todo el sistema respiratorio siendo retenidas y eliminadas por deglución y dependiendo del tamaño, partículas mayores a 1 micra se depositan en las paredes de los bronquios inmediatamente después de la bifurcación del árbol bronquial y las inferiores a 1 micra pueden penetrar profundamente en el pulmón.

Todas las personas que se encuentren en un ambiente contaminado por partículas son susceptibles a estas afecciones, sin embargo esta susceptibilidad puede verse incrementada según diversos factores, así los más susceptibles a ser afectados por este problema son personas mayores, niños menores y personas con un bajo nivel de vida lo cual repercute en desnutrición, falta de saneamiento y falta de atención médica (OMS, 2000).

3.4.3. 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 U.V. 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).

3.4.4. 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.

3.5. CALIDAD DE AIRE EN LIMA METROPOLITANA

En el año 2000, la Dirección General de Salud (DIGESA) realizó un estudio diagnóstico de la Cuenca Atmosférica a la que pertenece Lima y Callao, en el cual investigó la distribución espacial de las concentraciones de partículas obteniendo como resultados que los contaminantes son transportados hacia el norte y este de la ciudad siguiendo el patrón de vientos dominantes, además los contaminantes tienden a acumularse en las microcuencas del río Chillón y del río Rímac, en la Molina y en San Juan de Lurigancho, debido a la existencia de una inversión térmica permanente de una altura de promedio de 500 m.s.n.m. Al respecto, según SINIA (2002), mediciones realizadas el mismo año por la DIGESA, indicaban que la concentración promedio anual de partículas totales en suspensión fue de 210.1 mg/m³ en el centro de Lima, valor por encima de los límites referenciales de 150 mg/m³.

Cuatro años más tarde, la Municipalidad de Lima Metropolitana, en el Plan Integral de Saneamiento Atmosférico Lima – Callao del 2004, presentó los resultados de investigaciones realizadas por diversas instituciones del sector público sobre los problemas de la contaminación atmosféricas imperantes en nuestra ciudad, determinándose a través de estos que el contaminante de mayor peligrosidad para la salud de la población son las partículas en suspensión por una fracción respirable menor a 10 micras (PM₁₀).

En relación a esto, el SENAMHI mediante su Programa de Vigilancia de la Contaminación Ambiental, desde el año 2004 evalúa los niveles de contaminación en los diferentes distritos de la capital, contando con una red de muestreo de los contaminantes sólidos sedimentables (CSS), una estación automática de Calidad del Aire para la evaluación de los contaminantes gaseosos (Dióxido de Azufre, Monóxido de Carbono, Ozono Troposférico y Óxidos de Nitrógeno) y una estación meteorológica automática (PISA, 2004). Como resultados, el SENAMHI emite boletines mensuales de Medio Ambiente, los cuales son publicados en su página web oficial. En el último boletín emitido correspondiente al mes de Septiembre 2014, el distrito de Puente Piedra muestra las más altas concentraciones de PM₁₀, además la mayoría de distritos supera el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para este contaminante, haciendo más evidente este problema de contaminación (SENAMHI, 2014).

Cifras obtenidas de los contaminantes MP10 y MP2,5, dan una referencia de la cantidad de PAS que existe en el ambiente ya que son directamente proporcionales. En base a esto, según cifras del Banco Mundial para el año 2011 muestran que los niveles promedio de PM10 en Perú en un período de 10 años han disminuido muy poco en relación a otros países, para el año 2001 el nivel promedio era de 68,2 microgramos por metro cúbico y para el año 2011 este promedio sólo disminuyó a 62,9. Según los estándares de la Organización Mundial de la Salud - OMS el promedio anual permisivo es de 20 microgramos por metro cúbico mientras que para la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos – EPA, el límite es de 50 microgramos por metro cúbico, estando nuestro país por encima de ambos límites. Además, el promedio actual en el Perú no sólo es uno de los más alto de la región, superando a Chile, Brasil y México, sino que es más alto que el promedio latinoamericano actual (43,3) e inclusive más alto que el promedio latinoamericano de hace 13 años (60,4). La siguiente tabla muestra cifras de Concentración de CSS en diferentes estaciones del año para Lima – Callao.

Tabla N° 01: Valores máximos se PAS durante cada estación del año 2004, Zonas Críticas Lima y Callao

Valores Máximos registrados de contaminantes Sólidos Sedimentables durante cada estación del año 2004 en las zonas críticas de Lima-Callao.

Estación del año	% Estaciones Muestro que superan el LMP	Cono Norte (t/km ² mes)	Cono C- Este (t/km ² mes)	Cono Sur (t/km ² /mes)
Verano (Feb.)	81,0	37,7	22,6	25,0
Otoño (Abr)	65,0	30,6	17,5	25,0
Invierno (Ago)	62,0	20,7	18,3	25,0
Primavera (Nov)	78,0	23,0	29,0	25,5

Fuente: SENAMHI, 2004

3.6. PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LIMA

El Plan Integral de Saneamiento Atmosférico ha llevado a cabo un análisis sobre las fuentes que dan origen a las emisiones de los contaminantes antes mencionados, determinando que el parque automotor que circula en el área Metropolitana de Lima – Callao es el principal causante del deterioro de la calidad del aire. Sin embargo, deben señalarse que existen otras fuentes estacionarias tales como las actividades industriales y comerciales que se desarrollan dentro de la ciudad y que contribuyen a esta contaminación.

Con respecto al efecto del parque automotor, en el año 2013 se estimó la población del Área Metropolitana Lima – Callao en 10 millones de habitantes, quienes para movilizarse cotidianamente realizan un promedio aproximado de 14 millones de viajes por día, lo que corresponde a una tasa de 1.9 viajes por hab/día. El 81% de estos viajes se realizan en transporte público y el 19% en transporte privado. Además, el destino principal se concentra en el área delimitada por el Centro de Lima y las avenidas Aviación, Benavides y Arequipa, que conforman el centro expandido de la ciudad. Todo estos factores incrementan el impacto que tienen las partículas sobre la calidad del aire, además al focalizarse en ciertos puntos generan zonas de alto riesgo (PISA, 2004).

En cuanto a la Industria, en el Perú se concentra en la región costera del país y dentro de ella básicamente en el Área Metropolitana Lima Callao. Alrededor del 76 % de los establecimientos industriales se sitúan en esta región, siendo las zonas de mayor concentración Lima Cercado, Callao Cercado, Villa el Salvador, Independencia, Los Olivos y Comas; siendo predominante las industrias de Papel, Alimentos, Bebidas, Metálicas, Textiles, Caucho y productos plásticos, Curtido y Adobo de Cueros. De este grupo, el 85.4 % del total de emisiones corresponde a vapor – gas y el 7 % a partículas. En cuanto a los residuos, el 29.3 % destina sus residuos a un sanitario y 24.2 % a botaderos, y solo el 3.8 % realiza tratamiento a sus residuos (PISA, 2004).

3.7. 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 siguiente tabla, como referencia el monitoreo de este contaminante.

Tabla N° 02: Límites máximos permisibles por DIGESA Y SENAMHI según metodología empleada.

INSTITUCIÓN	TIEMPO PROMEDIO	LÍMITES MÁXIMOS mg/cm²/30DÍAS	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

3.8. NORMAS INTERNACIONALES

En la siguiente Tabla N° 03 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 N° 03: Estándares de Contaminante Sedimentable por países.

PAÍS	TIEMPO PROMEDIO	ECA mg/cm²/30DÍAS	TÉCNICA
Argentina	30 días	1	Gravimétrica
Suiza	30 días	0.6	Gravimétrica
Costa Rica	30 días	1	Gravimétrica
Ecuador	30 días	1	Gravimétrica
Colombia	30 días	1	Gravimétrica
Chile	30 días	0.5	Gravimétrica
México	30 días	1	Gravimétrica

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria – CEPIS

Tan importante como la fuente de la que se origina este contaminante, son las condiciones externas de las cuales dependerá su concentración y dispersión dentro del medio en el que se encuentren, siendo estas condiciones aspectos importantes a tomar en cuenta dentro de una gestión enfocada en mejorar la calidad del aire en relación a este contaminante.

3.9. 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 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. En relación a esto, 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.

3.9.1. Viento

De todas estas fenómenos meteorológicos condicionantes, son la velocidad del viento y la turbulencia atmosférica las más relevantes en la dispersión de los contaminantes. Según Vicent (2004), la primera condiciona la rapidez con la cual el 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. Al respecto, Cortelo (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. Estos parámetros relacionados al viento, como la dirección y velocidad, pueden conocerse mediante mediciones anemométricas a una cierta altura o por registros de observatorios meteorológicos,

sin embargo la turbulencia no es susceptible de medición directa según Vicent (2004).

Entonces uno de los principales agentes condicionantes de la contaminación por partículas es el viento. Este agente dispersor es afectado por una serie de factores tales como la rugosidad del terreno, el efecto de apantallamiento, desviación o acanalamiento de los accidentes topográficos o de las construcciones artificiales sobre el suelo, el efecto de brisas terrestres de valle y montaña. Debido a esto los cálculos de concentración de contaminantes a nivel del suelo revisten en muchos casos una gran complejidad, especialmente cuando se consideran estudios a nivel regional, nacional o internacional (Vicent, 2004).

3.9.2. 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.

3.9.3. 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.

3.10. 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”. También puede darse un proceso distinto en el cual las partículas en movimiento chocan directamente con un objeto, a este proceso se le denomina “incrustación”.

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).

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

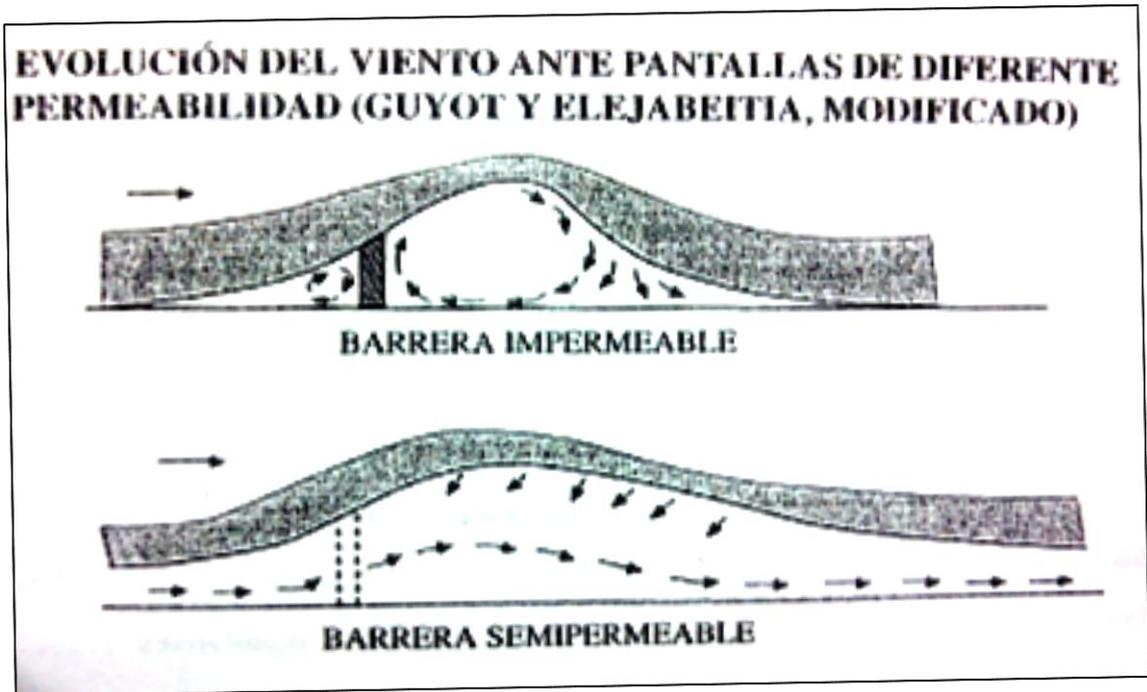
Existen características propias de la hoja que definen su capacidad de adsorción de partículas. Entre las características que incrementan esta capacidad están las excrecencias, pelos, exudaciones o relieve muy accidentado. Otro aspecto influyente es el porte de la planta puesto que en ciertos casos los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

3.11. 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.

Gráfico N° 02: Evolución del viento ante pantallas de diferente permeabilidad



Fuente: Mariano, 2002.

Con respecto a la figura N° 02, una barrera impermeable provoca que la masa de aire se desvíe hacia arriba y se comprima, aumentando su velocidad y disminuyendo su presión estática generando una corriente ascendente, seguido a esto la masa de aire vuelve a ocupar las capas más bajas a una distancia entre seis y ocho veces la altura de la barrera. Como efecto de esta barrera se genera también un pequeño remolino por debajo del flujo, lo que repercute en un incremento de la velocidad de sedimentación de partículas. En el caso de barreras semipermeables, las curvas no son tan violentas, pues el aire se desvía menos, desaparece el remolino y la masa de aire vuelve a las condiciones previas a la barrera a una mayor distancia del obstáculo. Si la velocidad del viento es elevada, la barrera se comporta casi como un obstáculo impermeable, efectuándose la mayor sedimentación a una distancia del obstáculo doce veces su altura; y si la velocidad del viento es reducida, el fenómeno se atenúa y la sedimentación tiende a aproximarse a la normal.

En resumen las cortinas vegetales pueden ser muy útiles teniendo en cuenta las características de la permeabilidad de la barrera, si es impermeable provoca una sedimentación intensa a partir de la distancia de seis a ocho veces la altura del obstáculo y se protege un espacio entre la barrera y una distancia de cuatro veces su

altura. Si la barrera es permeable, la zona protegida llega hasta una distancia de seis veces la altura de aquella, y la zona de sedimentación comienza a partir de una distancia diez a doce veces la altura del obstáculo. Entonces es posible orientar las sedimentaciones y proteger ciertas zonas de la sedimentación de partículas. Para esto es suficiente establecer una barrera impermeable en un lugar tal que provoque el depósito de partículas en una zona previamente establecida que disponga de amplias superficies de recepción. Para proteger zonas amplias, se pueden instalar series de barreras semipermeables a distancia tal entre ellas (seis veces su altura), que permitan proteger espacios de un modo similar a los cortavientos utilizados en la agricultura para la protección contra vientos persistentes (Mariano, 2002).

3.12. GESTIÓN URBANÍSTICA

Por lo descrito en párrafos anteriores, 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/hab muy inferior al límite establecido por la OMS que es 8m²/hab.

La situación en la mayoría de países desarrollados es distinta. Estos 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).

3.13. MÉTODO DE MEDICION DE CONTAMINANTES SÓLIDOS

Con respecto al muestreo de los contaminantes atmosféricos, existen diversos métodos los cuales pueden ser divididos en dos grandes grupos: métodos continuos y discontinuos. Los continuos implican la captación y análisis del contaminante en el punto de muestreo, de forma continua y automática, mientras que los discontinuos suponen la captación del contaminante en el punto de muestreo y su posterior transporte hasta el laboratorio, donde se realizará el análisis. Además, estas metodologías pueden ser divididas en cinco tipos genéricos: muestreadores pasivos, muestreadores activos, analizadores automáticos en línea, sensores remotos y bioindicadores (Roberts, 2000).

Dentro de los métodos pasivos, el muestreo de contaminantes puede darse mediante jarras, placas receptoras y tubos pasivos. Estos dispositivos de toma de muestra colectan un contaminante específico por medio de su adsorción (jarras y placas receptoras) y absorción en un sustrato químico seleccionado (tubos pasivos).

3.13.1. Método de “placas receptoras”

Consiste en la utilización de una lámina o placa con un adherente como la vaselina, el cual constituye el elemento sensible del método, en donde quedará atrapado el polvo atmosférico sedimentable (PAS) o contaminante sólido sedimentable (CSS). Después de una exposición por un apropiado período de muestreo, que varía desde un par de horas hasta un mes, la muestra regresa al laboratorio, donde se analiza cuantitativamente por método gravimétrico.

Entre las principales ventajas de esta metodología están los bajos costos de su aplicación, lo cual permite extender muchas unidades para obtener información de la

distribución espacial de contaminantes. Sin embargo, el tiempo de resolución de esta técnica es limitado, por lo que sólo puede proveer información de concentraciones promedio de contaminantes.

Para esta investigación se utilizó este método de muestreo pasivo mediante placas receptoras, el cual es utilizado por el SENAMHI para el monitoreo de PAS para la ciudad de Lima Metropolitana y Callao.

3.14. ANÁLISIS DE DATOS

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un test estadístico denominado “Prueba Q” de Dixon, que tiene por objetivo identificar y rechazar valores atípicos, es decir valores que no están relacionados con el resto de valores del grupo de datos. El procedimiento consiste en ordenar los datos a estudiar en orden ascendente para seleccionar el valor supuestamente discordante, luego se calcula el Q experimental (Q_{exp}) que consiste en relacionar la diferencia de datos continuos con el rango de la serie, y para finalizar se compara el Q_{exp} con el Q_{crit} (Q crítico) el cual se obtiene de una tabla dependiendo de número de datos y el porcentaje de confiabilidad. Si el Q_{exp} es mayor al Q_{crit} entonces representa un dato anómalo y no deberá ser tomado en cuenta para el análisis.

También se realizó un análisis estadístico para determinar si existe diferencia significativa en la cuantificación de sólidos totales por superficie para las especies *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia*. Para tal fin se utilizó la prueba t – Student para dos muestras independientes con iguales tamaños muestrales. Este procedimiento consiste en comparar los valores promedios de la capacidad de adsorción para ambas especies, obteniendo como Hipótesis Nula (H_0) que no hay diferencia significativa entre ambos valores, y como Hipótesis Alternativa (H_a) que hay diferencia significativa entre estos valores. Para esta prueba se utilizó un nivel de significancia de 95%.

3.15. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES A EVALUAR EN EL CONDOMINIO “LA QUEBRADA”

3.15.1. Molle costeño

Nombre científico: *Schinus terebinthifolius*

Nombre común: Molle costeño, falsa pimienta, molle hawaiano.

Familia: Anacardiaceae

Descripción

Árbol siempre verde de 5 a 7 metros de altura en promedio, con la copa densa de color verde oscuro, tronco corto a veces algo torcido, con la corteza oscura y fisurada, ramaje abierto hojas imparipinnadas de 8 a 12 centímetros de longitud, flores dispuestas en racimos axilares o terminales, pequeñas y de color verdoso, frutos rojizos de 2 a 3 mm de diámetro dispuestos en racimos muy ornamentales.

Cultivo

El Molle Costeño es ampliamente cultivado como planta ornamental en las regiones heladas de América del Sur por su follaje y frutos. Se considera como una flor melífera. A pesar de que no es un verdadero pimienta (*Piper*), sus drupas secas se venden como granos de pimienta rosa, al igual que los frutos de la especie relacionada *Schinus molle* (molle). Las semillas pueden ser utilizadas como una especia, agregando un sabor parecido a la pimienta para la comida. Por lo general son vendidos en su estado seco y tienen un color rosa brillante (De Fort, 2010).

3.15.2. Planta del rocío o Señorita

Nombre científico: *Aptenia cordifolia*

Nombre común: Señorita, planta del rocío, rocío, portulaca marina.

Familia: Aizoaceae

Origen: Sur de África

Descripción:

Aptenia cordifolia es una planta rastrera que forma una alfombra de hierbas perennes de formación plana en grupos sobre el terreno a partir de una base. Los tallos pueden alcanzar unos 3 metros de largo. Las hojas de color verde brillante, carnosas, tienen generalmente forma de corazón de unos 3 centímetros de largo o más. Tiene brillantes flores de color rosa a púrpura que aparecen en las axilas de la hoja y están abiertas durante el día. Estos verticilos colorados no son pétalos, sino estaminodios no funcionales, como en todos los Aizoaceae. Tiene 4 tépalos (2+2) acrescentes en la fructificación. El fruto es una cápsula de poco más de un centímetro de largo con semillas tuberculadas milimétricas de color pardo.

Cultivo

Esta planta, debido que no es trepadora, es plantada en zonas altas, de modo que pueda ser utilizada para cubrir taludes, muros y rocas. Por otro lado para cubrir zonas con poca o nada cobertura vegetal. Debido a su extenso desarrollo, es útil para evitar el crecimiento de malas hierbas en el terreno donde se planta.

También puede subsistir sin problemas en maceta. La *Aptenia cordifolia* es muy fácil de cultivar. Necesita mucha luz para vivir, mejor a pleno sol. Con respecto a los riesgos, es muy resistente a la sequía, pero con la tierra húmeda crece rápidamente. Conviene que la tierra de cultivo tenga buen drenaje. No soporta las heladas. Se reproduce fácilmente a partir esquejes de los tallos desarrollados, raíces, semillas de su fruto capsular, incluso de sus propias hojas enterradas (De Fort, 2010).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MATERIALES

4.1.1. Equipos

- Estufa
- Mufla
- Balanza analítica
- Estación meteorológica Davis Vantage Pro 2

4.1.2. Materiales de laboratorio

- Pinza
- Piceta
- Crisol
- Cápsula
- Filtro de Fibra de Vidrio
- Vasos de Precipitado
- Desecador
- Agua destilada

4.1.3. Otros

- | | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| - Block de apuntes | - Malla de Mosquitero |
| - Bolsas negras de 25 lt. | - Materiales de escritorio |
| - Cámara fotográfica | - Wincha de 5 metros |
| - Cinta aislante | - Placa de vidrio de 10 cm
x 10 cm |
| - Computadora | - Vaselina |
| - Sujetadores | |
| - Escalera simple | |

4.2. METODOLOGÍA

Para su desarrollo se utilizó una metodología adaptada de 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. Además, para el monitoreo de PAS se utilizó el método pasivo de placas receptoras, utilizado por SENAMHI, mencionado anteriormente.

4.2.1. Tipo de estudio

- Experimental: debido a que es un proceso que incluye el muestreo, monitoreo y análisis de las muestras obtenidas por la aplicación de ambos métodos.

- Transversal: porque la investigación se ha llevado a cabo en un período de tiempo determinado.

- Exploratorio: porque la investigación ha permitido conocer si hay variaciones de los niveles de polvo atmosférico sedimentable en superficies con una distinta cobertura.

- De campo: debido a que se investiga la concentración de polvo atmosférico sedimentable en un sitio determinado, realizando un recorrido por estos puntos y a la vez tomando muestras para realizar dicha investigación.

4.2.2. Lugar

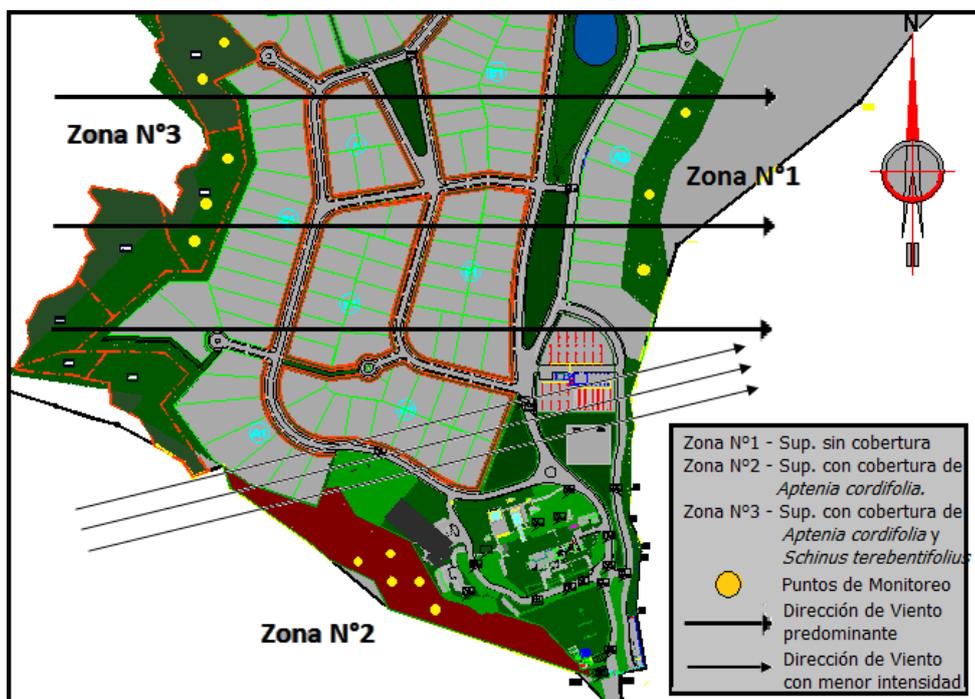
El estudio se realizó en el condominio “La Quebrada - Cieneguilla”, a la altura del km 23.5 de la carretera Nueva Toledo distrito de Cieneguilla, provincia de Lima. Se encuentra situada a la margen izquierda del río Lurín y sus coordenadas UTM son: 12°05'57.2"S 76°47'22.6"W.

4.2.3. Selección del área de estudio

El área de estudio contó con 7 ha y fue seleccionada por tener dentro de su extensión, superficies sin cobertura vegetal, superficies sólo con cobertura de *Aptenia cordifolia* y una mezcla de coberturas entre *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia*. Esto hizo posible la comparación de concentraciones de PAS entre distintas superficies y así determinar el impacto que tiene el tipo de cobertura en la concentración de estos contaminantes.

Esta investigación tiene por objetivos específicos: determinar la capacidad de adsorción de material particulado para ambas especies y estimar cuantitativamente el impacto que generan estas especies en la concentración de PAS en el ambiente. Para el primero, se establecieron 5 puntos de recolección de hojas en una superficie con cobertura de *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia* (Zona N° 3). Para el segundo, se establecieron 5 puntos de monitoreo de PAS (placas receptoras) para superficies con cobertura de *Aptenia cordifolia* (Zona N° 3), otros 5 puntos para una superficie con cobertura de *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia* (Zona N° 2) y 3 puntos más para una superficie sin cobertura (Zona N° 1) (fotos N°11 y N°15 - Anexo N°2).

Gráfico N°03: Área de muestreo en el condominio La Quebrada



Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Selección de especies

Las especies analizadas fueron *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia*, siendo esta última una especie rastrera comúnmente utilizada en sistemas de cobertura para protección de laderas, ya que se caracteriza por tener un rápido crecimiento y un bajo consumo de agua. La especie arbórea seleccionada es comúnmente utilizada en áreas verdes urbanas de Lima.

4.2.5. Determinación de la capacidad de adsorción de material particulado

i. Dispositivo para captura de hojas

Para la captura de las hojas, para su posterior análisis de capacidad de adsorción de material particulado (MP), se construyeron tres trampas a partir de mallas mosquiteras enmarcadas en un sostén de alambres, de manera que se consiga una forma ovoide o en forma de hamaca, tal como muestran las fotos N°22 y N°23, Anexo N°02.

Para su elaboración se utilizó malla rashell y alambre galvanizado, y para su instalación se utilizó rafia; y como herramientas tijeras y alicates, necesarios para el correcto procedimiento.

Adicional a lo mencionado, se cercaron y marcaron las superficies, mencionando que son parte de un trabajo de investigación, evitando la manipulación por otras personas. El recogido de hojas de las trampas se dio tres veces durante un mes.

La colección consistió en el retiro de las trampas de forma cuidadosa, evitando perder alguna muestra. Las hojas fueron depositadas en bolsas plásticas, selladas y marcadas con el código de la muestra para su posterior análisis (Foto N°24, Anexo N°02). Luego se colocarán las trampas en el mismo lugar y posición.

ii. Determinación de la superficie foliar

Debido que las hojas tienen un área superficial irregular, se optó por utilizar hojas milimetradas para el cálculo de la superficie foliar.

Para el cálculo del área mediante hojas milimetradas se dibujaron las siluetas de las hojas en un papel milimetrado. Este procedimiento se realizó para todas las hojas seleccionadas de las trampas y puestas en observación. Una vez dibujadas las siluetas se determinó el área por medio del conteo de cuadrados en las hojas milimetradas, con un total de 2 repeticiones por cada uno. El dato arrojado fue utilizado para hallar el área de las hojas. Este procedimiento se realizó luego de haber lavado las hojas para determinar la cantidad de partículas sedimentables captadas.

Una vez determinado el área de todas las hojas se obtuvo la superficie promedio por hoja caída, incluyendo solamente el haz.

iii. Cantidad de material particulado retenido en hojas

Para el cálculo de la cantidad de material particulado retenido en hojas, se utilizó metodología planteada por “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, Ed. 20th.

a) Procedimiento experimental

a. Sólidos Totales

- Calcinar la capsula de porcelana a $550^{\circ} \pm 50^{\circ}\text{C}$, durante una hora en una mufla.
- Se enfría, deseca, pesa y almacena lista para su uso.
- Retransfiere la muestra medida a la capsula previamente pesada y se evapora a sequedad en una estufa a $103^{\circ} - 105^{\circ}\text{C}$.
- Se enfría la capsula en un desecador y se pesa.
- Se repite el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta obtener un peso constante

Cálculos:

mg de Sólidos Totales/L = (A-B) x 1000/L de muestra

Donde:

A= peso de muestra + capsula (g)

B= peso de cápsula (g)

b. Sólidos Volátiles (SV)

Se calcina el residuo producido en la etapa anterior hasta peso constante en horno de la mufla a una temperatura de 550 +/- 50°C. La pesada se lleva a cabo después de enfriar la cápsula en un desecador.

Cálculos:

mg de sólidos volátiles/L = (X-Y) x 1000/L de muestra

mg de sólidos fijos/L = (Y- Z) x 1000/L de muestra

Donde:

X= peso del residuo + cápsula antes de ignición (g)

Y= peso del residuo + cápsula después de ignición (g)

Z= peso de la cápsula (g)

c. Sólidos suspendidos

i. Sólidos suspendidos Totales (ST)

- Son una fracción de los ST.
- Se pesa un disco de papel de filtro lavado y calcinado previamente a 550° +/- 50°C para eliminar posible material volátil.
- Un volumen conocido de la muestra de agua se filtra utilizando el disco de papel filtro. El filtro con los sólidos retenidos se depositan en una cápsula de porcelana y se someten a calefacción a 103° - 105°C hasta sequedad total.
- Se enfría el filtro en un desecador y se pesa.
- Se repite el ciclo de secado, enfriado, desecado hasta obtener un peso constante.

Cálculos:

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

Donde:

A= peso de la muestra + filtro (g)

B= peso del filtro (g)

ii. Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)

- Se calcina el residuo producido en la etapa anterior hasta peso constante en horno de mufla a una temperatura de $550^{\circ} \pm 50^{\circ}\text{C}$. La pesada se debe realizar después de enfriar en un desecador.

Cálculos:

$$\text{mg de sólidos suspendidos volátiles/L} = (X-Y) \times 1000/\text{L de muestra}$$

$$\text{mg de sólidos suspendidos fijos/L} = (Y-Z) \times 1000/\text{L de muestra}$$

Donde:

X= peso del residuo + filtro antes de ignición (g)

Y= peso del residuo + filtro después de ignición (g)

Z= peso de la filtro (g)

iv. Tiempo de permanencia de las hojas

De manera simultánea se evaluó el tiempo de permanencia de las hojas en el árbol de la especie molle costeño. Para esto se realizó el siguiente procedimiento:

- Se identificaron y marcaron hojas en brote de 5 individuos, dos hojas por individuo, teniendo un total de 10 brotes marcados. Esta cantidad se determinó con fines de tener como mínimo 10 datos de tiempo de permanencia de hojas.
- Se realizó verificaciones a partir de la primera semana de marcadas, luego se acortó el período de tiempo entre verificaciones hasta llegar a un procedimiento diario. Esta verificación consistía en observar si la hoja marcada ya se había desprendido del árbol.
- Los valores obtenidos, de tiempo de permanencia de los folíolos, se promediaron.

v. Número total de hojas

Para la estimación del número total de hojas promedio por individuo, se tomaron como muestra 5 ramas de distintos individuos. Se realizó el conteo de hojas y folíolos respectivos por un tramo de 1 metro de rama, para esto se tomaron en cuenta solo los folíolos que superaban el promedio de área foliar que se obtuvo en cálculo de Área foliar (5.57 cm²), tomando como referencia una hoja con el área especificada. De los resultados se obtuvo el promedio de folíolos por metro lineal de rama (cubierta por hojas). (Método propio, validado por Asesor)

Una vez obtenido el número promedio de folíolos por 1 metro de rama, se procedió a calcular la longitud de cada sección de rama con hojas, estimando así el número de folíolos por individuo (con un área superior a 5.57 cm²). Este mismo procedimiento se realizó para tres individuos, obteniendo el número promedio de folíolos por individuo (Método propio, validado por Asesor).

4.2.6. Concentración de PAS en el ambiente - Placas Receptoras

Consiste en la utilización de una lámina o placa con vaselina como agente adherente, el cual constituye el elemento sensible del método, en donde quedará atrapado el polvo atmosférico sedimentable (ver Foto N°01).

Antes de ser colocadas las placas receptoras, se realizó una limpieza previa, luego se procedió a untar la vaselina de tal manera que ésta cubra toda la placa pero sin que exista un volumen de exceso. Posteriormente se realizó la identificación y pesado inicial de las placas receptoras en la balanza analítica. La vaselina constituye el elemento sensible de este método, ya que es una sustancia adherente que permite captar las partículas sedimentables sobre la placa.

Se utilizaron en total 23 placas de vidrio de dimensiones 10 cm x 10 cm, además, se colocaron 3 plataformas¹ pequeñas por cada placa para cada parante, con cubierta cada una para evitar la pérdida de muestra por lluvias u otros factores externos. Las placas fueron colocadas en parantes con dimensiones 2¼” x 2¼” x 3 m. Se colocaron 3 placas por cada parante, una en la base 0.30 m (A) y otra a la altura media del árbol 1.10 m (B) y la última en la parte alta 1.90 m (C)² con respecto al nivel del suelo. En total se colocaron 15 placas para la zona con *Aptenia cordifolia* y *Schinus terebinthifolius*, 5 para la zona con *Aptenia cordifolia* y 3 para la zona control (sin cobertura).

Se trasladaron las placas recién preparadas y pesadas hasta el sitio de monitoreo. Se debieron mantener las placas en buenas condiciones durante su traslado desde el laboratorio hasta el punto de monitoreo, para lo cual se utilizó un Porta Placa (cajas de cartón). De esta forma, la placa estuvo libre de cualquier contacto dérmico, presión o de algún material suspendido que no correspondía al punto de muestreo. Cualquier alteración del peso captado por la vaselina, alteraría totalmente los resultados de las mediciones (ver Foto N°02).

Además se colocaron 3 placas testigo, en una zona sin cobertura vegetal. Luego del periodo de exposición, las placas fueron cuidadosamente removidas e

¹ Para la toma de muestra de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) las placas se colocaran dentro de una estructura de madera diseñada para que le brinde protección del sol, precipitación, hojas, aves y otros (Ver foto N°3 y N°4, Anexo N°2 soporte para Placas Receptoras).

² Para fines prácticos se designarán las letras “A”, “B” y “C” para las alturas 0.30, 1.10 y 1.90m respectivamente.

inmediatamente pesadas para cálculos posteriores. El tiempo de exposición fue de 30 días (ver Foto N°20 y N°21).

i. Toma de muestras con placas receptoras

Para determinar el peso final de la placa se utilizó la fórmula siguiente:

$$W \text{ final} = W \text{ placa} + W \text{ vaselina} + WPAS$$

Para obtener el peso del PAS, se realizó el siguiente cálculo:

$$W \text{ final} - W \text{ inicial} = \Delta W = WPAS$$

Luego, se encuentra la concentración de PAS, mediante la ecuación:

$$C = \frac{\Delta W \times 30}{\text{Área de la placa} \times \text{Días de exposición}}$$

Dónde:

W = Peso en miligramos (mg)

ΔW = Diferencia de pesos en miligramos (mg)

WPAS = Peso del Polvo Atmosférico Sedimentable

C = Concentración de PAS ($\text{mg}/\text{cm}^2 \times 30$ días)

Área de la placa = Centímetros cuadrados (cm^2)

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO

5.1.1. Cálculo preliminar del promedio de material particulado

En la tabla siguiente se muestran los promedios de capacidad de adsorción de material particulado por centímetro cuadrado foliar en un tiempo de exposición de 30 días.

Tabla N° 04: Promedios de material particulado por superficie de las especies *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia*

Espeie	Sólidos Totales (mg/cm ² /30d)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/cm ² /30d)	Sólidos Volátiles (mg/cm ² /30d)	Sólidos Suspendido Volátiles (mg/cm ² /30d)
Mdle	1.1808	0.2704	0.8904	0.2005
Aptenia	0.7065	0.0233	0.4245	0.0499

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°04 se presentan los valores obtenidos para las especies *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia*, los cuales representan el resultado de dividir la masa de material particulado obtenida en cada muestra (ver Anexo N°04 - 2), con la superficie foliar total respectiva (Anexo N°05 - 2), obteniendo la capacidad de adsorción de material particulado por centímetro cuadrado foliar en un tiempo de exposición de 30 días. Puede observarse que estos valores para el molle costeño son más altos que los de la aptenia para todas las evaluaciones.

5.1.2. Análisis estadístico

Prueba Q - Dixon

Tabla N° 05: Análisis estadístico de los resultados de Material particulado obtenido en hojas de ambas especies.

n = 3
 Q crit = 0.970
 Grado de Confianza 95%

Clecta	Especie	Sólidos Totales (mg/cm ² /30d)	Q _{exp}	Sólidos Suspendidos Totales (mg/cm ² /30d)	Q _{exp}	Sólidos Volátiles (mg/cm ² /30d)	Q _{exp}	Sólidos Suspendido Volátiles (mg/cm ² /30d)	Q _{exp}
1	Mdle	0.6408	0.197	0.1726	0.128	0.4401	0.026	0.1803	0.349
2		0.9071	0.197	0.2059	0.872	0.4743	0.026	0.1960	0.349
3		1.9947	0.803	0.4326	0.872	1.7569	0.974	0.2252	0.651
1	Aptenia	0.1178	0.491	0.0077	0.364	0.0688	0.426	0.0224	0.585
2		0.6995	0.491	0.0202	0.364	0.3876	0.426	0.0528	0.415
3		1.3022	0.509	0.0420	0.636	0.8170	0.574	0.0745	0.415

Fuente: Elaboración propia

Teniendo el número de observaciones (n = 3), el grado de confianza (95%) se calculó el Q crítico (0.97), con lo cual se logró hallar los siguientes resultados:

- Se identificaron 4 observaciones sospechosas: 3 en el caso del molle costeño (1.9947, 1.7569 y 0.2252), y 1 en el caso de la señorita (0.0420), tal como muestra en la tabla N° 09.
- De los datos observados, solo fue descartado el resultado de Sólidos Volátiles obtenidos de la colecta N°3 para la especie Molle costeño. Esto debido que presenta un Q experimental (0.974) mayor al Q crítico (0.970), por lo que no fue tomado en consideración para este análisis final.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos para la especie *Schinus terebinthifolius* son resultado de 38 días de exposición aproximadamente, tiempo promedio de vida de una hoja; mientras que para la *Aptenia cordifolia*, el tiempo de espera para la recolección de hojas fue de 30 días. Para mayor practicidad, se transformaron los valores en base a 30 días.

A continuación se muestra el resumen de los resultados obtenidos luego del análisis de Q de Dixon.

Tabla N° 06: Resumen de resultados obtenidos de *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia* en mg/cm²/30d

Especie	Sólidos Totales (mg/cm²/30d)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/cm²/30d)	Sólidos Volátiles (mg/cm²/30d)	Sólidos Suspendido Volátiles (mg/cm²/30d)
Molle	0.6408	0.1726	0.4401	0.1803
	0.9071	0.2059	0.4743	0.1960
	1.9947	0.4326	NR	0.2252
Aptenia	0.1178	0.0077	0.0688	0.0224
	0.6995	0.0202	0.3876	0.0528
	1.3022	0.0420	0.8170	0.0745

Fuente: Elaboración propia

Prueba T-Student

Tabla N°07: Resultado promedio de molle costeño y aptenia del análisis estadístico

PRUEBA T- STUDENT					
Sólidos Totales	Promedio	S²	T_{exp}	T_{tabla al 95%}	Resultado
Molle	1.1808	0.5145	3.51	2.78	$T_{exp} > t_{tabla\ al\ 95\%}$ Hay diferencia significativa en la cuantificación de sólidos totales por superficie para ambas especies.
Aptenia	0.7065	0.3508	Criterio Si $t_{exp} < t_{tabla\ al\ 95\%}$ No hay diferencia significativa		

Fuente: Elaboración propia

Estadísticamente, aplicando la prueba t –student para la comparación de los promedios de sólidos totales captados por superficie foliar en un periodo de de 30 días, se obtuvo que existen diferencias significativas entre la capacidad de adsorción de material particulado de la especie Molle y Aptenia. El procedimiento utilizado para este análisis se encuentra adjunto en el Anexo N°7.

5.1.3. Cálculo Final de capacidad de adsorción de material particulado

Después del análisis estadístico, se volvió hacer el cálculo del promedio del material particulado para cada especie, para lo cual se excluyeron los datos con observaciones sospechosas que obtuvieron un Q experimental mayor al Q crítico. En la siguiente tabla se muestra el promedio final de material particulado en mg/cm²/30d.

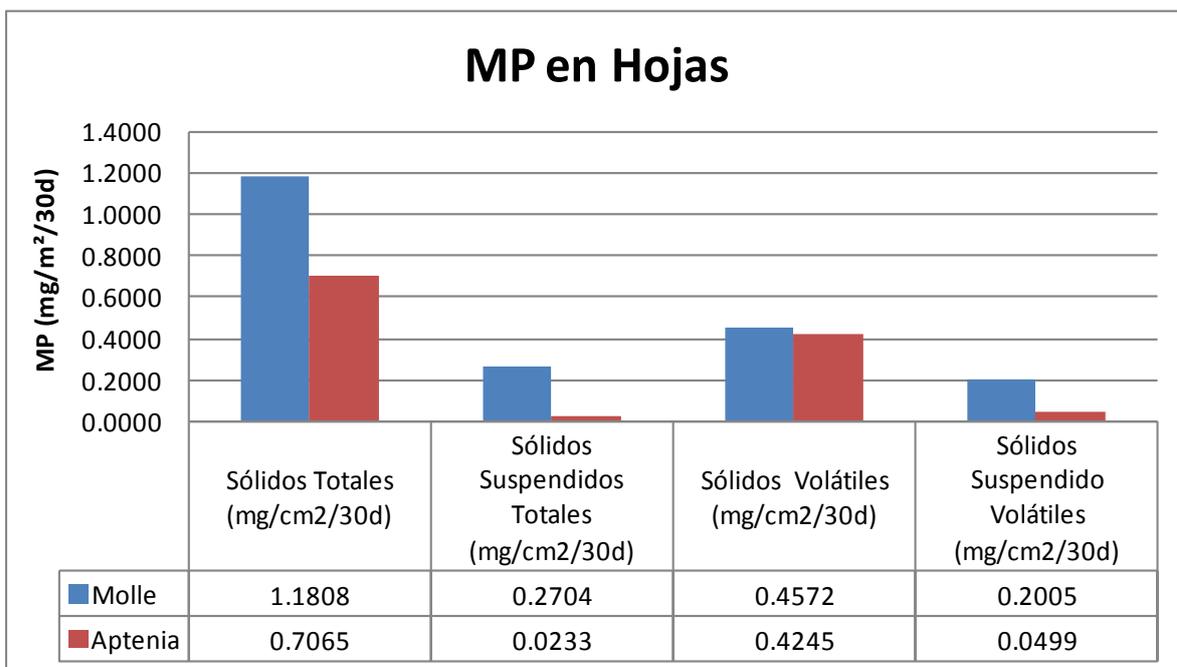
Tabla N° 08: Promedio final de MP en *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia* expresado en mg/cm²/30d

Especie	Sólidos Totales (mg/cm²/30d)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/cm²/30d)	Sólidos Volátiles (mg/cm²/30d)	Sólidos Suspendido Volátiles (mg/cm²/30d)
Molle	1.1808	0.2704	0.4572	0.2005
Aptenia	0.7065	0.0233	0.4245	0.0499

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 08 podemos observar que la cantidad de MP capturado por las hojas de molle es mayor que la capturada por las hojas de Aptenia en sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles. Sin embargo respecto a sólidos volátiles la diferencia es mínima; esto puede corresponder a una mayor concentración de sólidos volátiles en la Aptenia luego del ensayo de laboratorio.

Gráfico N° 04: Material Particulado promedio obtenido en hojas de *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia*



Fuente: Elaboración propia

En el cálculo de adsorción de Sólidos totales por superficie foliar, la especie *Schinus terebinthifolius* tiene una mayor capacidad de adsorción con 1.18 mg/cm²/mes, mientras que la *Aptenia cordifolia* presentó 0.71 mg/cm²/mes; sin embargo, esta última cumple la función de evitar el desprendimiento de material particulado en la superficie ya que la cubre en un 100%, generando una sinergia en relación a la filtración del PAS.

Estos resultados contravienen lo expuesto por Mariano (2002), cuando se refiere a las características externas de las hojas y afirma que los vegetales de escasa altura reciben mucha más cantidad de polvo, como ocurre con las herbáceas y con arbustos. Por otro lado, Mariano (2002) también afirma que el poder de captación de las hojas varía según la especie arbórea de que se trate y que el polvo retenido temporalmente en las hojas, es posteriormente lavado por la lluvia y arrastrado hasta el suelo o al tapiz herbáceo. Esto explicaría que las hojas de *Aptenia cordifolia*, debido a su característica superficial lisa haya retenido una menor cantidad de PAS que el *Schinus terebinthifolius*.

5.2. TIEMPO DE VIDA DE LAS HOJAS

A continuación se presentan los resultados del monitoreo del tiempo de permanencia en el árbol.

Tabla N° 09: Tiempo de permanencia de folíolos de la especie Molle costeño

<i>Schinus terebinthifolius</i>	Tiempo de permanencia de folíolos	
N° de Días	37	36
	34	43
	43	45
	35	39
	32	36
Promedio	38	

Fuente: Elaboración propia

Los datos de tiempo de vida de los folíolos de *Schinus terebinthifolius* fue el resultado del monitoreo constante, desde el brote hasta la caída de los folíolos. El tiempo de vida de las hojas es afectado por factores externos como: la velocidad del viento y precipitación.

Para el caso de la *Aptenia cordifolia*, no se realizó la estimación del tiempo de vida de hojas ya que forma una especie de “colchón” en el suelo y al ser una especie rastrera, cubre toda la superficie donde se encuentra y las hojas inferiores suplen a las superiores haciendo un ciclo continuo de cubrimiento.

5.3. NUMERO TOTAL DE HOJAS

A continuación se presenta el número total y promedio de folíolos por rama de longitud igual a 1 m, en relación al Molle costeño.

Tabla N° 10: Número total de folíolos promedio por rama en la especie Molle costeño

	N° Fdidos*				
	RamaN°1**	RamaN°2	RamaN°3	RamaN°4	RamaN°5
TOTAL	425	442	453	426	407

PROMEDIO - N° Fdidos por Rama L=1m	430.6
---	--------------

Fuente: Elaboración propia

* No se tomaran en cuenta los brotes nuevos u hojas de un área menor a 5.57 cm^2 .

** El conteo se realizó por metro lineal de rama

Para el cálculo del número total de hojas se estimó la cantidad de folíolos en 1 metro de rama poblada, es decir con presencia de hojas. Para esto se escogieron al azar ramas de 5 individuos distintos, 1 rama por individuo. Y se realizó el conteo de folíolos con un área mayor a 5.57 cm^2 (área promedio de folíolos caídos calculado para la capacidad de adsorción de las hojas). Los datos del número de folíolos por rama se muestran en el Anexo N° 04.

Tabla N° 11: Número total promedio de foliolos por individuo en la especie Molle costeño

Árbol	A	B	C	D	E
Longitud Total de Ramas (m)	22.68	21.84	22.42	20.67	23.63
N° Promedio - foliolos por rama L=1m	430.6				
N° Total - Foliolos por Individuo	9766	9403	9652	8900	10176
N° Promedio - Foliolos por Individuo	9579				

Fuente: Elaboración propia

Se estimó que en promedio, un individuo con un Dap de “x” y una altura promedio de “y” tiene en promedio 9579 foliolos con una superficie mayor a 5.57 cm²/foliolo.

Se puede inferir de los resultados que un individuo de *Schinus terebinthifolius* de 3 años de edad y una altura promedio de 3.5 m, un foliolo caído naturalmente cada 37 días con superficie promedio de 5.57 cm²/foliolo, con un promedio de 9579.36 foliolos por individuo y capacidad de retención de 1.1808 mg/cm²/mes, tiene la capacidad de retener 63003.98 mg de sólidos sedimentables en un mes. En comparación a este, la *Aptenia cordifolia*, en una superficie de 1 m² (cubierta al 100% por la planta), con una capacidad de adsorción de 0.7065 mg/cm²/mes, tiene la capacidad de retener 7065 mg de sólidos sedimentables en un mes con condiciones similares a las de esta investigación. Se puede decir entonces que ésta cantidad promedio de sólidos sedimentables adsorbidos por un individuo en un mes, se incrementará acorde al volumen de copa del árbol y, en el caso de especies rastreras, según el porcentaje de superficie cubierta por la planta.

5.4. CONCENTRACION DE PAS EN EL AMBIENTE

5.4.1. Cálculo preliminar del promedio de material particulado

Tabla N° 12: Cantidad de PAS retenido en las placas de vidrio

Cobertura	Nivel	MP (g)	PAS (mg/cm ² /mes)	Altura (m)
Molle y Aptenia	1.9 m	0.0589	0.5887	1.9
	1.1 m	0.0604	0.6043	1.1
	0.3 m	0.0874	0.8741	0.3
Aptenia	0.3 m	0.0914	0.9141	0.3
Sin Cobertura	0.3 m	0.1184	1.1843	0.3

Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Análisis estadístico

i. Prueba Q - Dixon

Se realizó el análisis estadístico para eliminar los datos con observaciones atípicas o sospechosas, para lo cual se usó la prueba de Q de Dixon.

Tabla N° 13: Valores de Q crítico según el porcentaje de confianza y el Número de Observaciones – Prueba de Dixon.

Nro. observaciones	Q _{crítico}		
	90% confianza	95% confianza	99% confianza
3	0.941	0.970	0.994
4	0.765	0.829	0.926
5	0.642	0.710	0.821
6	0.560	0.625	0.741
7	0.507	0.568	0.680
8	0.468	0.526	0.634
9	0.437	0.493	0.598
10	0.412	0.466	0.568

La tabla N° 13 presenta los valores Q críticos usados para los análisis de las placas receptoras y las hojas de molle costeño, señorita y las placas en la zona sin cobertura vegetal. Para ambos casos, el resultado de cantidad de PAS obtenido en las placas de vidrio y el obtenido en las hojas de ambas especies, se utilizó un 95% de confianza y un “n” igual a 5 y 3 respectivamente.

Tabla N° 14: Relación de Q experimental calculados para los resultados de masa de Material Particulado en placas receptoras.

		N° Flaca	N° Parante/ Posición	MP g	PAS g
Molle	Placas Superiores	11	5-C	0.0307	0.199
		2	1-C	0.0413	0.199
		13	4-C	0.0585	0.322
		6	3-C	0.0797	0.082
		1	2-C	0.0841	0.082
	Placas Medias	14	4-B	0.0482	0.008
		5	1-B	0.0485	0.008
		10	5-B	0.0555	0.195
		7	2-B	0.0659	0.290
		3	3-B	0.0841	0.507
	Placas Inferiores	19	4-A	0.0707	0.010
		20	3-A	0.0711	0.010
		21	1-A	0.0922	0.214
		4	2-A	0.0993	0.134
		15	5-A	0.1037	0.134
Aptenia	Placas Inferiores	32	9-A	0.0756	0.028
		30	7-A	0.0765	0.638
		34	10-A	0.0967	0.136
		31	8-A	0.1010	0.199
		29	6-A	0.1073	0.199
Placas Control	Placas Inferiores	27	12-A	0.0980	0.088
		28	13-A	0.1027	0.088
		33	14-A	0.1113	0.161
		35	15-A	0.1287	0.326
		26	11-A	0.1514	0.425

n=	5
Qcrit =	0.71
Grado Confianza	95%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 14 se ordenaron los resultados de las placas de acuerdo a la altura en que se encontraban en los parantes, siendo C la parte más alta del parante, B la parte media y A la parte baja para el caso del molle. En el caso de la aptenia solo se considera las placas inferiores, o sea las placas en posición A.

Teniendo el número de observaciones ($n = 5$) y el grado de confianza (95%) se calculó el Q crítico (0.71), con lo cual se pudo hallar los siguientes resultados:

Para el caso de los resultados obtenidos con las placas, se identificaron 3 observaciones sospechosas (0.0841, 0.1037 y 0.1514) que fueron incluidas en el resultado promedio por tener un Q experimental menor al Q crítico con referencia a la prueba Q de Dixon. Por lo tanto no fueron descartados para el promedio final de los resultados de las placas.

ii. Prueba T - Student

Tabla N° 15: Resultado del análisis estadístico para la determinación de diferencia significativa

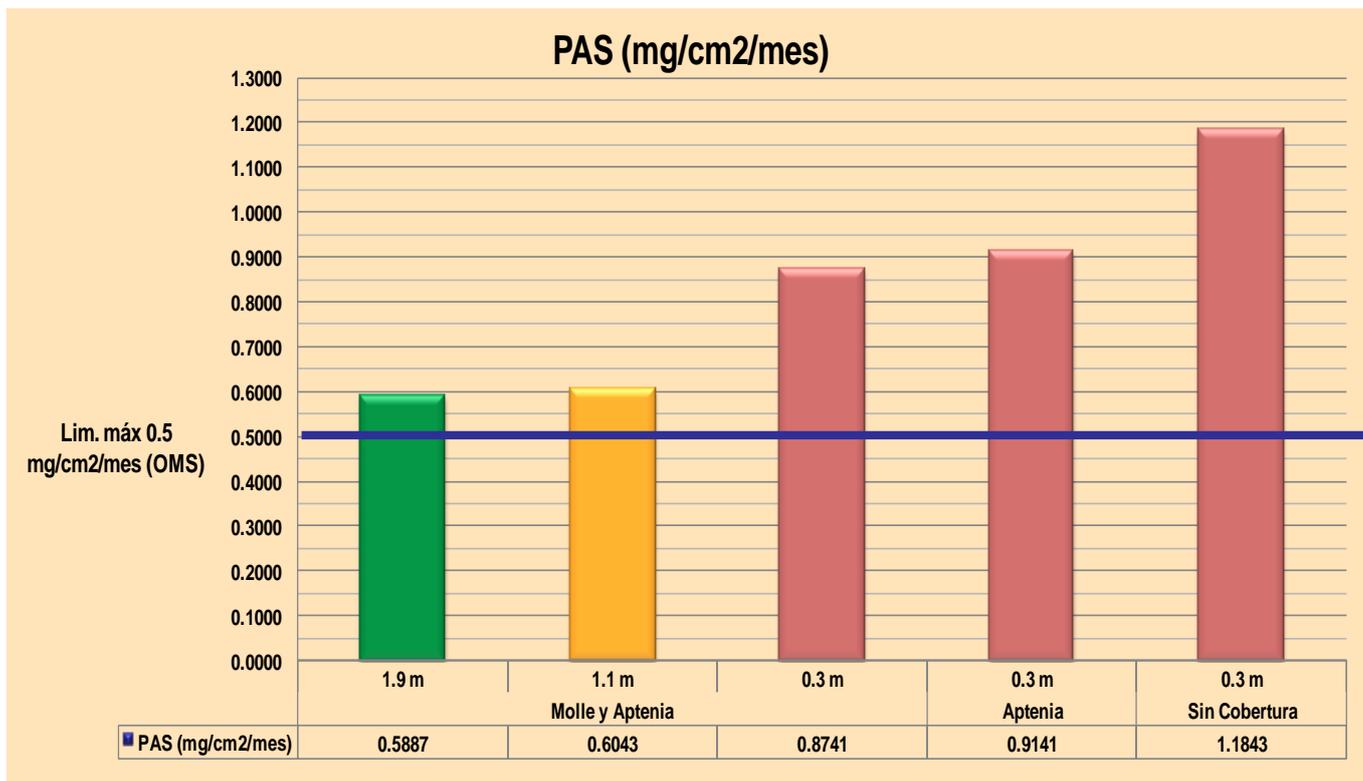
PRUEBA T - STUDENT					
Tipo de cobertura	Promedio (g)	S ²	T _{exp}	T _{tabla al 95%}	Resultado
Molle y Aptenia	0.087	0.000244	18.6389	7.9608	T _{exp} > t _{tabla al 95%}
Aptenia	0.091	0.000212	Criterio Si t _{exp} < t _{tabla al 95%} No hay diferencia significativa		Hay diferencia significativa en la cantidad de PAS para las superficies con coberturas de Molle y Aptenia.
Molle y Aptenia	0.087	0.000244	17.0596	7.2395	T _{exp} > t _{tabla al 95%}
Sin cobertura	0.118	0.000478	Criterio Si t _{exp} < t _{tabla al 95%} No hay diferencia significativa		Hay diferencia significativa en la cantidad de PAS para las superficies con coberturas de Molle y sin cobertura (control).
Aptenia	0.091	0.000212	17.79177	6.9649	T _{exp} > t _{tabla al 95%}
Sin cobertura	0.118	0.000478	Criterio Si t _{exp} < t _{tabla al 95%} No hay diferencia significativa		Hay diferencia significativa en la cantidad de PAS para las superficies con coberturas de Aptenia y sin cobertura (control).

Fuente: Elaboración propia

Estadísticamente, aplicando la prueba t –Student para la comparación de las medias de cantidad de PAS captados en superficies con coberturas de Molle y Aptenia, solo Aptenia y sin cobertura, en un periodo de tiempo de 30 días, se obtuvo que existen diferencias significativas entre las concentraciones de PAS en los tres tipos de superficie.

5.4.3. Cálculo Final de concentración de PAS en el ambiente

Gráfico N° 05: Masa de Material Particulado obtenidos en placas receptoras de vidrio



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 05 muestra que la cantidad de PAS captado en las placas receptoras de la zona sin cobertura vegetal (zona control) fue la mayor con 1.1843 mg/cm²/30d, seguido de la zona cubierta sólo por *Aptenia cordifolia* con 0.9141 mg/cm²/30d y esta última mayor a la zona cubierta por *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia* con 0.8741 mg/cm²/30d. Esta última representa un 26.3% de capacidad de captura en comparación a la zona sin cobertura, demostrando el beneficio ambiental de ambas coberturas en cuanto a la adsorción de PAS. Pese a esto los tres valores sobrepasan el límite máximo permitido impuesto por SENAMHI de 0.5 mg/cm²/30d, que indica contaminación por PAS.

Según los valores de PAS en las placas, la zona sin cobertura vegetal presentó un total de 1.1843 mg/cm²/30d lo cual representa 236.86 % del valor permitido por la OMS 0.5 mg/cm²/30d, que hace evidente la existencia de un problema de contaminación por polvo atmosférico en la zona, incluso en la zona cubierta por árboles y rastreras. Esto debido a que los individuos aún no tienen un volumen de copa considerable para retirar

una mayor cantidad de PAS del medio. Cabe mencionar que los individuos de molle costeño utilizados para el estudio eran arboles jóvenes de 3 años de edad y 3.5 m de altura.

Si comparamos la cantidad de PAS en las placas receptoras de las especies vegetales estudiadas, se puede deducir que la especie *Schinus terebinthifolius*, al provocar una reducción de la turbulencia por debajo de los 3 metros, disminuye el flujo de los contaminantes e incrementa la sedimentación de los mismos aprovechando más aun la capacidad de retención de material particulado; esto respaldado por Vicent (2004) cuando se refiere a la velocidad del viento y la turbulencia en la dispersión de PAS. Además la especie *Aptenia cordifolia* cumple la función de evitar que estos contaminantes regresen al aire por acción de fuerzas externas, reduciendo aún más la concentración del mismo en el medio ambiente.

También podemos inferir de los resultados obtenidos, que el porcentaje de PAS respecto a la zona sin cobertura vegetal para cada superficie fue la siguiente: Área cubierta por ambas especies 49.71% a 1.9 m de altura, 51.02% a 1.1 m de altura y 73.81% a 0.3 m de altura con respecto al suelos; mientras que una superficie cubierta sólo de *Aptenia cordifolia*, la concentración de PAS es el 77.18% de lo que hay en una zona sin cobertura, es decir, 22.82% menos concentración de PAS.

5.5. DATOS METEOROLÓGICOS

Los datos meteorológicos presentados a continuación: temperatura, precipitación y humedad relativa, son de gran importancia ya que están relacionados directamente con la dispersión de las partículas en el aire según Corleto (2012). Al respecto, esta investigación solo tomó en cuenta la dirección predominante del viento, sin embargo es importante mencionar las condiciones meteorológicas en las cuales se realizó este estudio,

Vicent (2004), afirma que además de dichos parámetros existen otros de suma importancia como: la velocidad del viento y la turbulencia, que tienen la capacidad de dispersar en la atmósfera los contaminantes vertidos por las fuentes. Por tal motivo se presenta también un gráfico de rosa de vientos (Figura N°03) que indica la velocidad y tendencia de dispersión de las PAS.

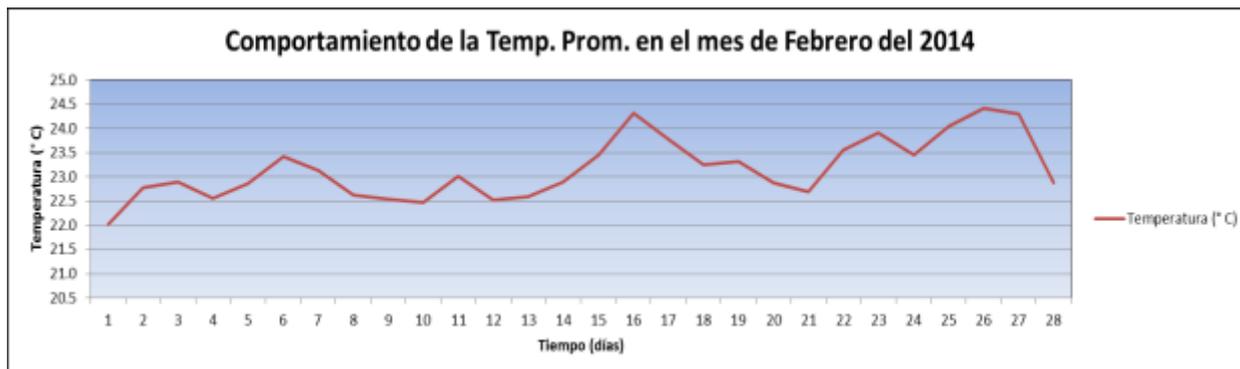
En la tabla N° 16 se muestra los datos promedio de temperatura, precipitación y humedad relativa tomada en los meses de enero, febrero y marzo del 2014 en el condominio “La Quebrada” en Cieneguilla por medio de la estación meteorológica Davis Vantage Pro 2 ubicado en el lugar mencionado.

Tabla N° 16: Datos promedio de Temperatura, Precipitación y Humedad relativa tomados de estación Davis Vantage Pro 2.

MES	TEMPERATURA(°C)	PRECIPITACIÓN (mm)	HUMEDAD RELATIVA (%)
Enero	22.6849	0.0012	82.4882
Febrero	23.1632	0.0001	76.7180
Marzo	23.5058	0.0023	77.4558

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 06: Variante de la temperatura promedio con respecto al mes de febrero del 2014 medido con estación Davis Vantage Pro 2.

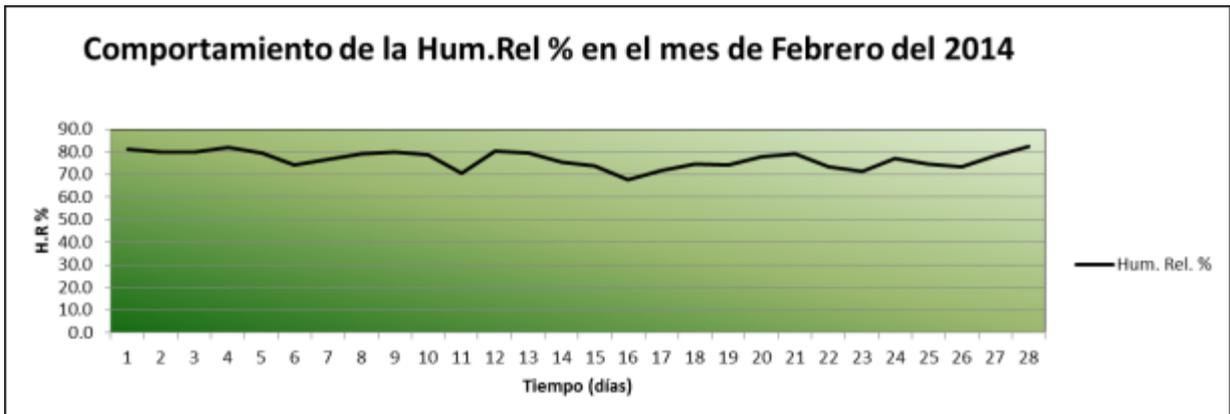


Fuente: Elaboración propia

La temperatura es uno de los factores meteorológicos más importantes para el estudio de PAS ya que determina los movimientos de las masas de aire y por lo tanto la estabilidad o inestabilidad de la atmosfera.

Podemos apreciar en el gráfico N° 06 que en general la tendencia de la curva de temperatura es ascendente durante todo el mes de febrero con una ligera caída en los días finales. El valor mínimo se encuentra al inicio (22° C) y llega a su valor más alto a finales del mes (24.4° C).

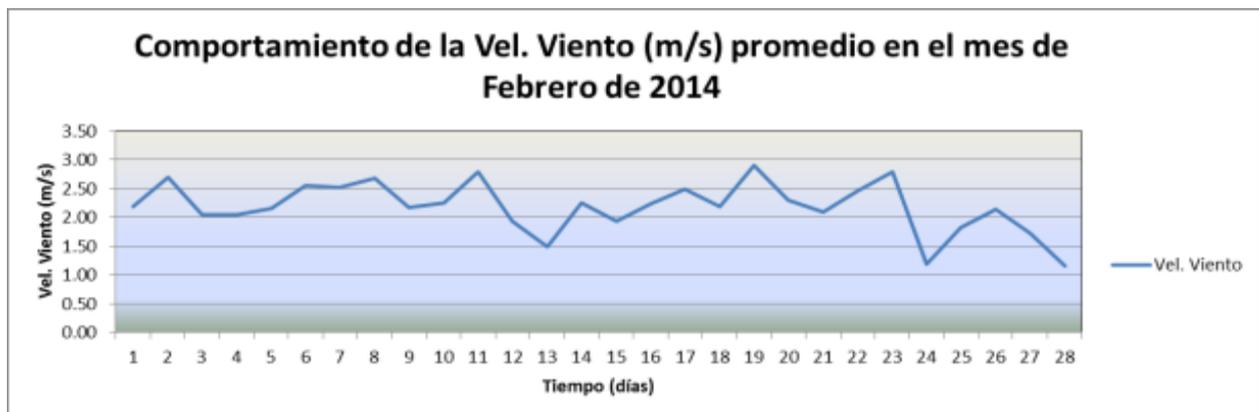
Gráfico N° 07: Variante de la humedad relativa promedio (H.R%) con respecto al mes de febrero del 2014, medido con estación Davis Vantage Pro 2.



Fuente: Elaboración propia

La humedad relativa es otro de los factores meteorológicos estudiados ya que indica la humedad de las masas de aire. Acerca de su comportamiento a lo largo del mes de febrero podemos decir que la curva de tendencia se mantiene constante, con ligeras caídas, llegando a su valor más bajo (67.6%) a mediados de mes hasta llegar a su valor más alto (82.4%) el día 28.

Gráfico N° 08: Variante de la velocidad del viento promedio (m/s) con respecto al mes de febrero del 2014, medido con estación Davis Vantage Pro 2.



Fuente: Elaboración propia

El viento fue un factor determinante para este estudio ya que en función a sus características, descrita en la rosa de vientos (dirección y velocidad), señalan la zona hacia donde se pueden desplazar los PAS y la capacidad de dispersión del mismo.

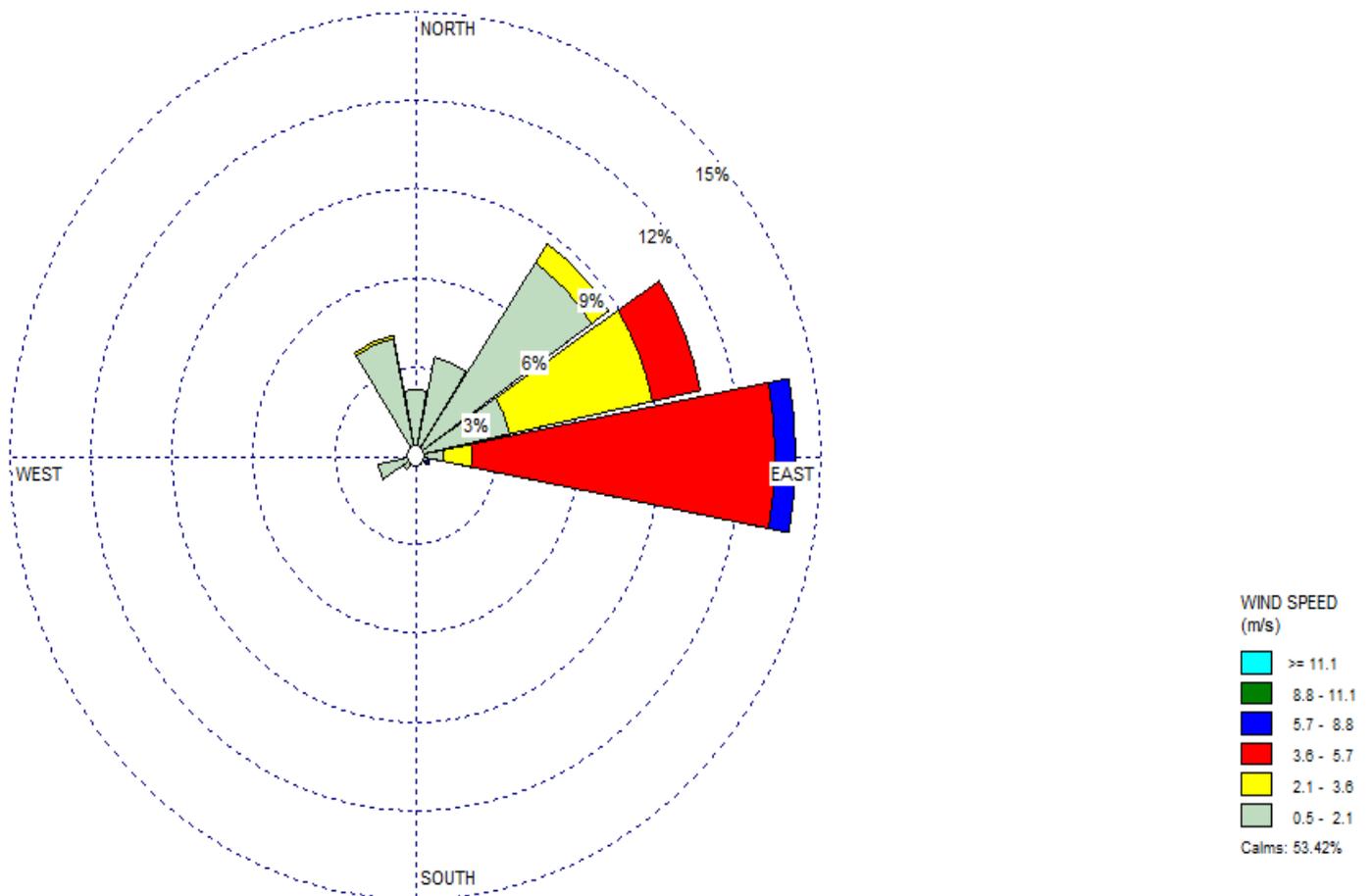
En el gráfico N° 08, en cuanto al comportamiento de la velocidad del viento promedio para el mes de febrero, se observa un incremento desde inicio del mes (2.6

m/s) hasta el día 13, donde el valor cae, para luego elevarse hasta el valor más alto del mes de velocidad promedio (2.9 m/s). Desde el día 20 comienza un descenso en el promedio mensual de la velocidad del viento hasta llegar a su punto más bajo a final del mes (1.16 m/s).

Se puede decir entonces que la velocidad promedio va disminuyendo conforme la temperatura va aumentando, basándonos en el gráfico N° 06 de temperatura promedio en el mes de febrero.

El general la tendencia de la velocidad promedio es descendente desde el inicio hasta el final de mes de febrero.

Gráfico N° 09: Rosa de vientos tomados por medio de estación Davis Vantage Pro 2



Fuente: Elaboración propia utilizando software
WRPLOT View Freeware 7.0.0

La dirección y la velocidad del viento se realizó estudiando todos los valores promedios medidos en el transcurso del mes febrero del 2014, de esta manera se obtuvo una rosa de vientos más exacta, sin embargo no se puede afirmar que esta sería la tendencia del viento en el año 2014 ya que la cantidad de valores medidos es insuficiente.

En el gráfico N°09 se muestra la rosa de vientos del mes de febrero del 2014. Se observa claramente como la velocidad predomina hacia el Este (E) y el Este Noreste (ENE) y en menor incidencia hacia el Nor Este (NE). Al realizar el análisis se puede observar este comportamiento es predominante en el transcurso del mes de febrero dando como resultado un porcentaje relativamente bajo de concurrencia (14% aprox.). Además, se muestra como los intervalos de velocidad más consistentes son los de 3.6 a 5.7 m/s, de 2.1 a 3.6 m/s y de 0.5 a 2.1 m/s, mientras que el de menor frecuencia es el intervalo de 5.7 a 8.8 m/s.

Por otro lado, se debe mencionar que en la rosa de vientos se muestran los momentos de calma que ocurren en el transcurso del mes (53.42%), lo que quiere decir que hay periodos en los que no sopla el viento en ninguna dirección en ese momento, ya que la figura no muestra una velocidad en ese instante, por lo tanto no hay viento soplando en esa dirección.

La mayor o menor concentración de polvo atmosférico sedimentable en un área determinada, 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.

5.6. LIMITANTES DE LA INVESTIGACIÓN

Los factores limitantes de la investigación, que hacen que los valores de los resultados disten del promedio son muchos, entre ellos están las mismas condiciones meteorológicas que pudiesen afectar a ciertos individuos de forma distinta que a otros, también errores propios de los análisis, las precipitaciones que origina un lavado en hojas, el mismo viento que arrastra partículas y de la misma manera las retira, entre otras.

VI. CONCLUSIONES

En el estudio realizado, la especie *Schinus terebinthifolius* “molle costeño” presentó una capacidad de adsorción de material particulado de 1.18 mg/cm²/30d, la cual representa un 66.2% más con respecto a la capacidad de adsorción de las hojas de, *Aptenia cordifolia* “señorita” con 0.71 mg/cm²/30d.

Un individuo de *Schinus terebinthifolius* de 3 años de edad con una altura de 3.5 m tiene una capacidad de adsorber en promedio 63 g de material particulado durante un periodo de 30 días en época de verano.

El sistema de cobertura vegetal con las especies *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia* genera un mayor impacto sobre el PAS del ambiente al reducir en un 26.2 % su concentración, en comparación a una cobertura compuesta solo de *Aptenia cordifolia* que reduce un 22.8 %, para ambos teniendo como referencia la zona sin cobertura vegetal.

La *Aptenia cordifolia* tiene la capacidad de retener el 77.3% del total de PAS que está sedimentando sobre su superficie.

Una cobertura compuesta por *Aptenia cordifolia* evita que nuevas partículas y partículas ya precipitadas contaminen el ambiente por acción del viento.

Las especies arbóreas influyen en la concentración de PAS del ambiente que los rodea, debido a que tiene la capacidad de adsorber estos contaminantes , y además modifica el flujo de viento y turbulencia generando una zona de menor concentración de PAS, esto sumado a la función que cumplen las especies rastreras de no permitir que los contaminantes se reincorporen nuevamente al ambiente, genera una sinergia orientada a mejorar la calidad del aire en relación a este contaminante y por lo tanto mejorar la calidad de vida de las personas.

La concentración de PAS en la superficie cubierta por *Schinus* y *Aptenia* superó el límite de la OMS de 0.5mg/cm²/mes en 74.82%, seguido de la superficie con *Aptenia* en 82.82 % y la superficie sin cobertura vegetal en 136.86%.

Estadísticamente aplicando la prueba t – Student al comparar los valores obtenidos experimentalmente, se determinó que existe diferencia significativa en la cantidad de PAS para ambas coberturas, por lo tanto, de no contar con estas, los valores de este contaminante en el área del proyecto serían significativamente más elevados.

VII. RECOMENDACIONES

Para estudios similares, realizar monitoreos para todas las estaciones del año con la finalidad de analizar la influencia de diversos factores en la concentración de material particulado en el ambiente, además el realizar un mayor número de monitoreos permitirá tener una mayor certeza de que la información procesada es representativa, permitiendo el fortalecimiento de la investigación.

Al realizar este tipo de estudios hay que tener en cuenta los factores externos, ya sean naturales o antropogénicos, porque pueden afectar los resultados finales puesto que las cantidades de contaminante con las que se trabaja son muy pequeñas en peso, es por ello que se debe tener mucho cuidado al momento de establecer los puntos y periodos de monitoreo, y al momento de manipular tanto las hojas como las placas en el transcurso del estudio.

Hacer un análisis del comportamiento del viento, ya que como principal agente dispersor, cualquier modificación de sus características derivará en cambios de concentración de este contaminante. Inclusive se menciona que la influencia del viento, en la concentración de material particulado en el ambiente, es mayor que la de la fuente de emisión misma.

Siendo la vegetación el actor principal en el presente estudio, realizar investigaciones acerca de la influencia de las características de las hojas en la capacidad de adsorción de material particulado de una especie y así poder generar un listado de las especies con alto potencial de captura de material particulado.

Una vez conocidos los beneficios que brindan las áreas verdes con respecto a la calidad del aire, plantear un sistema de implementación de áreas verdes que tenga por objetivo reducir la concentración de material particulado del ambiente, especialmente para el establecimiento de nuevos centros poblados y para aquellos que tengan poca superficie de área verde por persona.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

ALEGRE, V.; MEJIA, M.; VASQUEZ, E. Y ESPINOZA, C. (2007). 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. Trabajo de investigación no experimenta para optar los títulos de Ingeniero Ambiental y Forestal. Lima - Perú.

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. Washington. 2-56 pp.

BANCO MUNDIAL (2011). Cifras oficiales de Niveles promedio de PM10 um/m3 a nivel mundial. Portal web oficial.

CARRANZA, E. (2013). Ecosistema Urbano. (En línea). Consultado el 15 de octubre del 2013. Disponible en internet en: <http://es.scribd.com/doc/138004003/Ecosistema-Urbano>

CARTER, J. (1996). El Potencial de la Silvicultura Urbana en los países en Desarrollo. Conceptos. Santiago de Chile. Unasyuva 44 Dpto. de Montes – FAO – Roma 96 pp.

CORLETO, A., CORTEZ, D. (2012). Comparación de los métodos de Bergerhoff y placas receptoras para la cuantificación de polvo atmosférico sedimentable. Trabajo de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Química y Farmacia. Universidad de El Salvador. San Salvador – El Salvador. 161 pp.

CONAM. (2006). Estudio de la relación entre calidad del aire y mortalidad. Lima, Perú.

COMITÉ DE GESTIÓN DE AIRE LIMPIO PARA LIMA – CALLAO. (2004). (PISA). Plan Integral de Saneamiento Atmosférico Lima – Callao Lima. 100 pp.

DE FORT, R. (2010). Paisajes Verdes con Poca Agua. Florales - Club de Jardines del Perú. Lima - Perú. 97-98 pp.

ECORIESGO (1997). Una evaluación comparativa de riesgos para la salud ambiental en Lima Metropolitana – Lima.

FAGGI, A., AGUEDA, M., PERELMAN, P., et al.(2002). Proyecto: Bioindicadores ambientales de contaminación a lo largo de un gradiente de urbanización en Buenos Aires. Buenos Aires. Disponible en internet:

http://www.uflo.edu.ar/investigacion/investigaciones/cv_ambientefisico/Bioindicadores%20ambientales_Faggi.doc

FARIAS, E.; RODRIGO, C. (2004). El proceso de fijación y revisión de normas de calidad de aire/Lima: CEPIS, División de salud y ambiente. OPS

HENRY, J., W. HEINKE, G. (1996). Ingeniería Ambiental. 2a. edición. Prentice Hall. México. 500 pp.

HUGO, S. (1989). Contaminación y contaminantes, aspectos científicos, teóricos y prácticos.

KORC, M., FARIAS, F. Y CERDA, R. (2000). El proceso de Fijación y Revisión de las normas de Calidad del Aire. OPS-CEPIS/PUB/00.50. Lima.

MARCOS, R., CABRERA, M., LAOS, H., MAMANI, D. Y VALDERRAMA, A. (2008). Estudio comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable empleando las metodologías de tubo pasivo y de placas receptoras en la ciudad universitaria de San Marcos – Lima. 49- 58 pp.

MARIANO, S. (2002). Tratado de la Contaminación Atmosférica, Problemas, tratamiento y gestión. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 91-165, 387-497, 549-695, 863-867 pp.

NOWAK, D. (1991). La Silvicultura Urbana y Periurbana. Cuantificación del Impacto Ambiental de los árboles. Unasylva. 173 pp.

OMS, (2000). Guidelines for Air Quality - Guías para la Calidad de Aire. Traducido por Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS / OPS).1-77 pp.

PATRONATO PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE DE SALAMANCA, A.C., (2004). Calidad del aire. 250 pp.

PNUD, (1996). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (En línea). Consultado el 18 de Julio de 2013. Disponible en <http://www.un.org/cyberschoolbus/spanish/cities/eun02txt.htm>.

QUIROZ, J. (1980). Desarrollo de áreas verdes en suelos arenosos con aguas servidas en San Juan de Miraflores – Lima. 177 pp.

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”.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL, SINIA. (2002). El Medio Ambiente en el Perú Año 2002. Reporte sobre el estado del Ambiente. Lima 2002. Disponible. (En línea). Consultado el 27 de Julio de 2013. Disponible en <http://sinia.minam.gob.pe/index.php?accion=verElemento&idElementoInformacion=165&verPor=tema&idTipoElemento=2&idTipoFuente=34>

SENAMHI. (1996). Boletín informativo Boletín Agroclimático del Perú. Febrero – diciembre 1996.

SENAMHI. (2014). Boletín Vigilancia de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Lima y Callao. Boletín Mensual N°09. Setiembre 2014.

SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL SECTOR AGROPECUARIO (SISA). (2002). 100 pp.

SMITH. (1990). La contaminación atmosférica y los ecosistemas forestales. Consultado el 20 de Julio del 2013. Disponible en [http://www.inia.es/gcontrec/pub/055-070-\(07\)-S_contaminacio_1169111632453.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/055-070-(07)-S_contaminacio_1169111632453.pdf)

TURK, A.; TURK, J.; WITTES, J. T.; tr. Por Carlos Gerhard Ottenwaelder. (1973). Ecología, contaminación, medio ambiente. México: Interamericana. 83-114 pp.

UNFPA (2007). Estado de la Población Mundial 2007 - Liberar el potencial del crecimiento urbano. Fondo de Población de la Naciones Unidas.

VICENT, E., AMPARO, L. (2004). Dispersión de Contaminantes en la Atmósfera. Ed. Alfa Omega. Valencia, España. 13-14, 23-24 pp.

www.inei.gob.pe

IX. GLOSARIO

Partículas. Contaminantes generados por procesos extractivos, transporte, concentración, fundición, refinación y comercialización de la actividad minera; quema de combustibles fósiles; emisiones volcánicas; polen de la fase de floración de las plantas; fotoquímica de gases contaminantes primarios, etc. De las diferentes fracciones de partículas, las más finas son las más dañinas por su rápida penetración y permanencia en el sistema respiratorio, específicamente a nivel de los alvéolos pulmonares (Marcos, 2008).

Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) o Polvo Sedimentable PS. Constituido por partículas contaminantes sólidas de un diámetro equivalente mayor o igual a 10 micras ($D_{10\mu}$); 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 general de 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. (Marcos, 2008).

Método gravimétrico. Método analítico cuantitativo en el cual la determinación de las sustancias, se lleva a cabo por una diferencia de pesos. Existen métodos para conocer la concentración de una muestra en solución, que llevan a cabo precipitaciones de la muestra por medio de la adición de un exceso de reactivo y otros en los que directamente se pesa el material colectado en el filtro. En este último, se determina la masa, pesando el filtro antes y después del muestreo con una balanza a temperatura y humedad relativa controladas. (Marcos, 2008).

Sólidos totales. Es la expresión que se aplica a los residuos del material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a 103-105°C. Comprende los sólidos volátiles y fijos (APHA, 1998).

Sólidos fijos. Es la expresión aplicada a los residuos de los sólidos totales, suspendidos o disueltos, luego de someterse a ignición durante un tiempo determinado y a una temperatura de 550+/- 50°C (APHA, AWWA Y WEF, 1998).

Sólidos volátiles. Corresponde a los compuestos perdidos durante la calcinación a 550+/- 50°C. Se determinan por diferencia de pesos entre sólidos totales y fijos (APHA, 1998).

Sólidos suspendidos totales. Son los materiales retenidos por un filtro estándar de fibra de vidrio y secado a 103-105 °C (APHA, 1998).

Sólidos suspendidos fijos. Son los residuos resultantes luego de calcinar a 550+/- 50 °C la muestra retenida en el filtro (APHA, 1998).

Sólidos suspendidos volátiles. Corresponden a los compuestos perdidos durante la calcinación a 550+/- 50 °C de la muestra retenida en el filtro. Se determina por la diferencia de pesos entre sólidos suspendidos totales y fijos (APHA, 1998).

Partículas sedimentables (>10 µm). Son partículas que por su peso tienden a precipitarse con facilidad, razón por lo cual permanecen suspendidas en el aire en períodos cortos de tiempo (Corleto, 2012).

Partículas menores a 10 micrómetros - PM10 (<= 10 µm). Son partículas de diámetro aerodinámico equivalente o menor a 10 µm. Se consideran perjudiciales para la salud debido a que no son retenidas por el sistema de limpieza natural del tracto respiratorio (Corleto, 2012).

Partículas menores a 2.5 micrómetros - PM2.5 (<= 2.5 µm). Son partículas de diámetro aerodinámico equivalente o menor a 2.5 µm. Representan un mayor riesgo para salud humana, puede ser un factor de muerte prematura en la población (Corleto, 2012).

Humedad relativa. Es la relación porcentual entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación. Dicho de otra manera, es la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire en un momento dado para cierta temperatura con respecto a la cantidad máxima de vapor que puede contener a esa misma temperatura (Corleto, 2012).

Temperatura. Se construye del acto de medir el calor o frialdad de un objeto, siendo entonces una propiedad de un cuerpo y sirve para desarrollar una escala o patrón de referencia. La temperatura ambiente es un parámetro importante que determina la formación de las nubes, afecta la cantidad de vapor de agua que se encuentra en el aire (humedad atmosférica) e influye en la fuerza que ejerce el peso del aire sobre la superficie terrestre (presión atmosférica) (Corleto, 2012).

Viento. Es el desplazamiento horizontal del aire, este movimiento del aire es producido por diferencias de presión atmosférica, atribuidas sobre todo, a diferencias de temperatura. El vector velocidad del viento describe la tasa de cambio a la cual la posición de una masa de aire cambia con el tiempo (Corleto, 2012).

X. ANEXOS

10.1. ANEXO N° 01

INFORMACION DEL ADHERENTE, VASELINA SOLIDA

SINONIMOS: Parafina, Vaselina Solida, Cera de parafina, Cera del petróleo, Petrolato blanco.

FORMULA QUIMICA: C_nH_{2n+2}

DESCRIPCION: Sólido blanquecino, masa incolora o blanca más o menos translúcida, con estructura cristalina, ligeramente grasosa al tacto; prácticamente inodora.

SOLUBILIDAD: Insoluble en agua, etanol; poco soluble en alcohol absoluto; completamente soluble en cloroformo, benceno, disulfuro de carbono, éter, aceites volátiles, grasas, la mayoría de aceites fijos calientes.

PROPIEDADES FISICAS:

Punto de congelación: - 47 a - 65 °C

Peso específico: 0.815 – 0.880

Punto de fusión: 45 – 65°C

Punto de ebullición: 343°C

INCOMPATIBILIDADES: Con agentes oxidantes fuertes.

10.2. ANEXO N° 02

FOTOGRAFÍAS

1) Fotografías de Campo

DISPOSITIVO UTILIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE POLVO ATMOSFÉRICO SEDIMENTABLE, CON EL MÉTODO DE PLACAS RECEPTORAS



Foto N°01.- Modelo de placas utilizadas para la medición de PAS con adherente (Vaselina)



Foto N°02.- Placas con vaselina luego de ser retiradas de campo para realizar el pesado

SOPORTES UTILIZADOS PARA COLOCAR LAS PLACAS RECEPTORAS



Foto N°03.- Soportes elaborados en madera para colocar las placas receptoras a diferentes alturas para la evaluación en *Schinus terebinthifolius*



Foto N°04.- Soporte para placas receptoras para la evaluación en *Aptenia cordifolia*

**FOTOGRAFÍAS DE LA CUANTIFICACIÓN DE POLVO ATMOSFÉRICO
SEDIMENTABLE (PAS) MEDIANTE EL MÉTODO DE PLACAS RECEPTORAS
PARA *Schinus terebinthifolius***



Foto N°05.- Área de influencia de toma de muestras de PAS para *Schinus terebinthifolius*



Foto N°06.- Vista de la zona de colocación de los soportes con las placas receptoras



Foto N°07



Foto N°08



Foto N°09



Foto N°10



Foto N°11

Colocación de placas receptoras en los sitios de muestreo con ayuda de colaboradores

**FOTOGRAFÍAS DE LA CUANTIFICACIÓN DE POLVO ATMOSFÉRICO
SEDIMENTABLE (PAS) MEDIANTE EL MÉTODO DE PLACAS RECEPTORAS
PARA *Aptenia Cordifolia***



Foto N°12



Foto N°13.- Área de influencia de toma de muestras de PAS para *Aptenia cordifolia*



Foto N°14



Foto N°15



Foto N°16



Foto N°17



Foto N°18

Colocación de placas receptoras en los sitios de muestreo

**FOTOGRAFÍAS DE LA CUANTIFICACIÓN DE POLVO ATMOSFÉRICO
SEDIMENTABLE (PAS) MEDIANTE EL MÉTODO DE PLACAS RECEPTORAS
EN ZONAS SIN COBERTURA VEGETAL**



Foto N°19.- Área de influencia de placas receptoras en zonas sin cobertura



Foto N°20



Foto N°21

Colocación de placas receptoras en zonas sin cobertura vegetal

FOTOGRAFÍAS DE LA COLOCACIÓN DE TRAMPAS PARA LA RECOLECCIÓN DE HOJAS DE *Schinus terebinthifolius*



Foto N°22



Foto N°23

Colocación de trampas para la captura de hojas de *Schinus terebinthifolius* durante un mes de evaluación



Foto N°24



Foto N°25



Foto N°26

Recolección de hojas de *Schinus terebinthifolius* luego de un mes de evaluación

2) Fotografías de Laboratorio

FOTOGRAFÍAS DEL ANÁLISIS DE LABORATORIO DE HOJAS DE *Schinus terebinthifolius*



Foto N°27



Foto N°28



Foto N°29



Foto N°30



Foto N°31



Foto N°32



Foto N°33



Foto N°34

Análisis de muestras de hojas de *Schinus terebinthifolius* para determinar la cantidad de PAS (Sólidos totales y sólidos suspendidos totales)



Foto N°35



Foto N°36



Foto N°37



Foto N°38

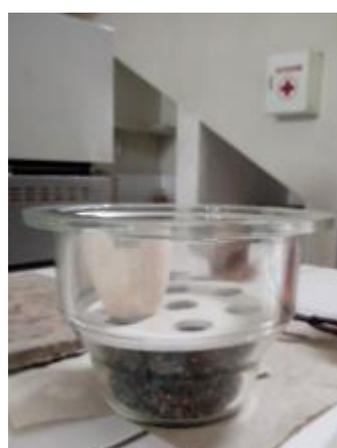


Foto N°39

Determinación de Sólidos volátiles y sólidos suspendidos volátiles para *Schinus terebinthifolius*

FOTOGRAFÍAS DEL ANÁLISIS DE LABORATORIO DE HOJAS DE *Aptenia Cordifolia*



Foto N°40



Foto N°41



Foto N°42



Foto N°43



Foto N°44



Foto N°45

Análisis de muestras de hojas de *Aptenia cordifolia* para determinar la cantidad de PAS
(Sólidos totales y sólidos suspendidos totales)



Foto N°46



Foto N°47

Determinación de Sólidos volátiles y sólidos suspendidos volátiles para *Aptenia cordifolia*



Foto N°48



Foto N°49



Foto N°50

FOTOGRAFÍAS DE LA ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE HOJAS DE UN ÁRBOL



Foto N°51



Foto N°52

Toma de muestras y conteo de hojas y folíolos para la estimación del número total de hojas de un árbol.



Foto N°53



Foto N°54

10.3. ANEXO N° 03

METODOLOGÍA USADA SEGÚN EL STÁNDAR METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER

A) METODOLOGÍA PARA SÓLIDOS TOTALES

b) Fundamentos sólidos totales

Es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida. Incluye los sólidos totales suspendidos y los sólidos disueltos totales.

a.1. Sólidos suspendidos Totales

Están incluidos dentro de los anteriores y es la porción de sólidos totales retenida por un filtro.

El tipo de soporte de filtro, el tamaño de poro, la porosidad, el área y espesor del filtro, así como la naturaleza física, el tamaño de partículas y cantidad de material depositado en el filtro, son los factores principales que afectan la separación de los sólidos suspendidos y los sólidos disueltos.

a.2. Sólidos totales disueltos

Están también incluidos dentro de los primeros y es la porción que atraviesa el filtro.

a.3. Sólidos fijos y sólidos volátiles

Sólidos fijos es la expresión aplicada a los residuos de los sólidos totales, suspendidos o disueltos, después de someterse a ignición durante un tiempo determinado y a una temperatura especificada. La pérdida de peso por ignición se debe a los sólidos volátiles. Esta última práctica se usa como una estimación del contenido orgánico del agua, aun cuando hay algunas sales inorgánicas que eventualmente pueden descomponerse originando también una pérdida de peso del residuo.

c) Materiales

- Cápsula de porcelana
- Filtro
- Probeta
- Luna de reloj
- Estufa y mufla
- Balanza analítica

d) Procedimiento experimental

Sólidos totales secados a 103 – 105 °C y sólidos volátiles.

c.1) Sólidos Totales

- Calcinar la capsula de porcelana a 550° +/- 50°C, durante una hora en una mufla.
- Se enfría, deseca, pesa y almacena lista para su uso.
- Retransfiere la muestra medida a la capsula previamente pesada y se evapora a sequedad en una estufa a 103° - 105°C.
- Se enfría la capsula en un desecador y se pesa.
- Se repite el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta obtener un peso constante

Cálculos:

mg de Sólidos Totales/L = (A-B) x 1000/L de muestra

Donde:

A= peso de muestra + capsula (g)

B= peso de cápsula (g)

c.2) Sólidos Volátiles (SV)

Se calcina el residuo producido en la etapa anterior hasta peso constante en horno de la mufla a una temperatura de 550 +/- 50°C. La pesada se lleva a cabo después de enfriar la cápsula en un desecador.

Cálculos:

mg de sólidos volátiles/L = (X-Y) x 1000/L de muestra

mg de sólidos fijos/L = (Y- Z) x 1000/L de muestra

Donde:

X= peso del residuo + cápsula antes de ignición (g)

Y= peso del residuo + cápsula después de ignición (g)

Z= peso de la cápsula (g)

c.3) Sólidos suspendidos

c.3.1) Sólidos suspendidos Totales (ST)

- Son una fracción de los ST.
- Se pesa un disco de papel de filtro lavado y calcinado previamente a $550^{\circ} \pm 50^{\circ}\text{C}$ para eliminar posible material volátil.
- Un volumen conocido de la muestra de agua se filtra utilizando el disco de papel filtro. El filtro con los sólidos retenidos se depositan en una cápsula de porcelana y se someten a calefacción a $103^{\circ} - 105^{\circ}\text{C}$ hasta sequedad total.
- Se enfría el filtro en un desecador y se pesa.
- Se repite el ciclo de secado, enfriado, desecado hasta obtener un peso constante.

Cálculos:

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

Donde:

A= peso de la muestra + filtro (g)

B= peso del filtro (g)

c.3.2) Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)

- Se calcina el residuo producido en la etapa anterior hasta peso constante en horno de mufla a una temperatura de $550^{\circ} \pm 50^{\circ}\text{C}$. La pesada se debe realizar después de enfriar en un desecador.

Cálculos:

mg de sólidos suspendidos volátiles/L = $(X-Y) \times 1000/\text{L de muestra}$

mg de sólidos suspendidos fijos/L = $(Y-Z) \times 1000/\text{L de muestra}$

Donde:

X= peso del residuo + filtro antes de ignición (g)

Y= peso del residuo + filtro después de ignición (g)

Z= peso de la filtro (g)

10.4. ANEXO N° 04

RESULTADOS DE MATERIAL PARTICULADO EN PLACAS Y HOJAS

1. RESULTADOS OBTENIDOS DE PAS (POLVO ATMOSFÉRICO SEDIMENTABLE) EN PLACAS DE VIDRIO

N° PLACA	Placa + Vaselina	Placa + Vaselina + MP				MP	N° Parante - Posición
		1	2	3	Promedio		
2	47.3669	47.4033	47.4068	47.4145	47.4082	0.0413	1C
1	47.4373	47.5204	47.5313	47.5126	47.5214	0.0841	2C
6	49.8706	49.9471	49.9613	49.9425	49.9503	0.0797	3C
13	51.2863	51.0323	51.0032	51.9989	51.3448	0.0585	4C
11	47.6942	47.7134	47.7376	47.7236	47.7249	0.0307	5C
5	47.7468	47.7670	47.8012	47.8175	47.7952	0.0485	1B
7	47.2385	47.2963	47.3060	47.3109	47.3044	0.0659	2B
3	47.5531	47.6146	47.6683	47.6286	47.6372	0.0841	3B
14	47.6768	47.7138	47.7221	47.7389	47.7249	0.0482	4B
10	47.7253	47.7787	47.7894	47.7741	47.7807	0.0555	5B
21	46.8153	46.9170	46.8853	46.9203	46.9075	0.0922	1A
4	49.9875	50.0889	50.0659	50.1056	50.0868	0.0993	2A
20	47.2629	47.3385	47.3394	47.3240	47.3340	0.0711	3A
19	46.0620	46.1402	46.1542	46.1038	46.1327	0.0707	4A
15	47.5087	47.6205	47.6203	47.5965	47.6124	0.1037	5A
29	46.8173	46.9223	46.9290	46.9225	46.9246	0.1073	6A
30	46.5782	46.6608	46.6558	46.6474	46.6547	0.0765	7A
31	46.2981	46.3974	46.3998	46.4001	46.3991	0.1010	8A
32	46.8315	46.9105	46.9038	46.9069	46.9071	0.0756	9A
34	46.8069	46.9040	46.9060	46.9008	46.9036	0.0967	10A
26	46.4516	46.6047	46.6070	46.5974	46.6030	0.1514	11A
27	46.9590	47.0586	47.0515	47.0609	47.0570	0.0980	12A
28	46.5280	46.6383	46.6235	46.6303	46.6307	0.1027	13A
33	47.2133	47.3258	47.3262	47.3218	47.3246	0.1113	14A
35	46.3568	46.4895	46.4818	46.4852	46.4855	0.1287	15A

Cobertura	Nivel	MP(g)	PAS (mg/cm ² /30da)	Altura(m)
Mde+Apteria	C	0.0589	0.5887	1.9
	B	0.0604	0.6043	1.1
	A	0.0874	0.8741	0.3
Apteria	A	0.0914	0.9141	0.3
SnCobertura	A	0.1184	1.1843	0.3

2. RESULTADOS OBTENIDOS EN HOJAS DE *Schinus terebinthifolius*

SOLIDOS TOTALES

	Peso(g)		
	Cápsula	Cápsula+MP (100°C)	ST
1	92.7117	92.7727	0.077
2	81.4051	81.5938	0.239
3	81.248	81.3134	0.083

Sólidos Totales Volátiles

	Peso(g)				
	Cápsula	Cápsula+MP (100°C)	ST	Cápsula+MP (500°C)	STV
1	92.7117	92.7727	0.061	92.7536	0.05307
2	81.4051	81.5938	0.1887	81.5713	0.21051
3	81.248	81.3134	0.0654	81.2822	0.04331

Sólidos Suspensos Totales

	Peso(g)		
	Papel Filtro (sec)	Papel Filtro+ MP (100°C)	SST
1	0.3517	0.3662	0.02483
2	0.3523	0.3679	0.02067
3	0.3451	0.3789	0.0395

Sólidos Suspensos Volátiles

	Peso(g)			
	Crisol	Crisol + Papel Filtro(500°C)	Cenizas Papel Filtro*	SSV
1	46.3841	46.3979	0.000246	0.02363
2	51.1274	51.1437	0.000247	0.02174
3	51.0299	51.0475	0.000242	0.02716

LRESULTADOS OBTENIDOS EN HOJAS DE SEÑORITA *Aptenia cordifolia*

SOLIDOS TOTALES

	Peso(g)		
	Cápsula	Cápsula+MP (100°C)	ST
1	92.7094	92.7769	0.0675
2	81.5031	81.6134	0.1103
3	81.2452	81.2577	0.0125

Sólidos Vdátiles

	Peso(g)				
	Cápsula	Cápsula+MP (100°C)	ST	Cápsula+MP (500°C)	STV
1	92.7094	92.7769	0.0675	92.7468	0.0374
2	81.5031	81.6134	0.1103	81.5723	0.0692
3	81.2452	81.2577	0.0125	81.2525	0.0073

SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Sólidos Suspendidos Totales

	Peso(g)		
	Papel Filtro (sec)	Papel Filtro+ MP (100°C)	SST
1	0.3593	0.3628	0.0035
2	0.3642	0.3649	0.0007
3	0.3676	0.3694	0.0018

Sólidos Suspendidos Vdátiles

	Peso(g)			
	Crisd	Crisd + Papel Filtro (500°C)	Cenizas Papel Filtro*	SSV
1	51.1235	51.1279	0.00002515	0.0044
2	51.0293	51.0361	0.00002549	0.0068
3	46.3767	46.3787	0.00002573	0.002

* Se calculó un 0.007% de cenizas para el papel filtro utilizado

3. RESULTADO OBTENIDOS EN EL CÁLCULO DE CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE PAS EN HOJAS DE: *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia Cordifolia*

SOLIDOSTOTALES

		ST	PesoHojas(g)	ÁreaSuperficial (cm ²)	ST/superficie fdiar (mg/cm ²)
MOLLE	1	0.077	1.7106	95.2	0.6407
	2	0.239	1.6678	94.6	1.9947
	3	0.083	1.1698	72.1	0.9071
	Promedio	0.1330			1.1808

APTENIA	1	0.0675	11.0809	96.5	0.6994
	2	0.1103	14.9322	84.7	1.3022
	3	0.0125	14.8786	106.1	0.1178
	Promedio	0.0634			0.7065

Sólidos Volátiles

		SV	%SV con respecto al peso	SV/superficie fdiar (mg/cm ² /30d)
MOLLE	1	0.053	3.0983	0.4401
	2	0.2105	12.6214	1.7568
	3	0.0433	3.7015	0.4743
	Promedio	0.1023	6.4737	0.4572

APTENIA	1	0.0374	0.3375	0.3875
	2	0.0692	0.4634	0.8170
	3	0.0073	0.0491	0.0688
	Promedio	0.0380	0.2833	0.4244

SólidosSuspendidosTotales

		SST	PesoHojas(g)	ÁreaSuperficial (cm ²)	SST/superficiefdiar (mg/cm ²)
MOLLE	1	0.0248	1.5417	70.41	0.2059
	2	0.0207	1.3552	90.40	0.1726
	3	0.0395	1.2961	78.14	0.4326
	Promedio	0.0283			0.2704

APTENA A	1	0.0035	126424	83.27	0.0420
	2	0.0007	126383	91.32	0.0077
	3	0.0018	13.4404	89.27	0.0202
	Promedio	0.0020			0.0233

SólidosSuspendidosVdátiles

		SSV	%SSV con respectoal peso	SSV/superficiefdiar (mg/cm ²)
MOLLE	1	0.0236	1.5308	0.1960
	2	0.0217	1.6012	0.1803
	3	0.0271	2.0909	0.2252
	Promedio	0.0241	1.7410	0.2005

APTENA A	1	0.0044	0.0348	0.0528
	2	0.0068	0.0538	0.0745
	3	0.0020	0.0149	0.0224
	Promedio	0.0044	0.0345	0.0499

10.5. ANEXO N° 05

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ESTIMACIÓN DEL NUMERO DE FOLIOLOS POR INDIVIDUO

1. CONTEO DE FOLIOLOS Y RAMAS

Hojas	N° Fdidos*				
	Rama N°1**	Rama N°2	Rama N°3	Rama N°4	Rama N°5
1	6	5	6	7	6
2	9	7	6	8	6
3	7	6	9	7	9
4	6	5	9	7	6
5	8	6	7	5	9
6	9	5	8	5	5
7	7	5	6	8	8
8	8	7	5	6	5
9	8	8	8	6	5
10	6	9	7	6	6
11	8	6	6	8	5
12	7	5	5	5	8
13	9	4	9	6	9
14	4	8	9	8	8
15	6	8	8	9	8
16	8	9	8	9	8
17	8	9	7	7	7
18	9	9	7	9	7
19	8	9	8	8	7
20	8	9	8	7	8
21	5	9	9	7	7
22	6	8	9	9	9
23	5	9	9	9	7
24	5	9	7	7	8
25	6	8	9	7	9
26	6	9	7	8	8
27	3	8	9	9	8
28	7	9	7	7	8
29	6	9	8	9	7
30	4	9	8	9	8
31	9	8	7	7	7
32	4	9	7	9	9
33	7	9	8	8	7
34	9	5	8	9	9
35	7	6	8	7	7

Hojas	N° Fdidos*				
	Rama N°1**	Rama N°2	Rama N°3	Rama N°4	Rama N°5
36	9	7	9	7	7
37	9	9	8	9	8
38	9	8	7	7	7
39	9	8	9	9	9
40	9	9	7	9	9
41	9	9	8	7	7
42	7	5	7	7	4
43	8	7	8	6	5
44	6	8	5	7	6
45	6	7	6	7	4
46	7	6	8	7	8
47	3	8	7	7	6
48	5	9	8	4	7
49	6	9	4	6	8
50	6	7	6	4	7
51	6	9	8	7	5
52	7	9	6	7	5
53	5	9	5	7	4
54	5	9	8	8	6
55	3	9	6	6	8
56	5	6	4	4	7
57	8	6	8	4	5
58	9	6	5	4	4
59	4		4	4	3
60	5		7	7	
61	9		7	3	
62	4		7		
63	5		5		
64	4				
TOTAL	238	263	266	262	258

N° PROMEDIO- fdlidos por rama	257
-------------------------------	------------

* No se tomaron en cuenta los brotes nuevos u hojas de un área menor 5.59 cm²

** Los resultados del conteo están referidos a 1 m longitudinal de rama.

2. ÁREA SUPERFICIAL DE MUESTRAS

a. Muestras de *Schinus terebinthifolius*

Área Superficial cm ²						
Foliolo	MST - 01	MST - 02	MST - 03	MSS - 01	MSS - 02	MSS - 03
1	6.12	6.25	4.86	3.74	11.55	6.04
2	6.84	6.44	6.56	3.55	4.01	5.82
3	9.27	7.94	4.73	6.01	9.23	5.91
4	9.01	5.90	6.42	8.28	6.82	5.39
5	5.54	8.11	5.41	7.22	5.04	4.62
6	7.60	6.87	6.51	7.25	8.49	5.90
7	6.02	9.52	5.91	6.60	5.86	5.04
8	5.55	4.56	3.13	4.96	4.61	4.48
9	4.78	4.64	3.99	3.95	5.17	3.98
10	4.15	5.38	3.27	3.21	5.44	7.00
11	5.71	6.55	4.57	3.16	5.28	3.93
12	5.79	5.65	4.85	5.57	4.57	5.44
13	6.80	4.04	3.90	2.59	4.67	4.45
14	7.54	5.73	3.45	2.17	6.12	6.84
15	4.63	7.06	4.57	2.15	3.54	3.30
TOTAL	95.35	94.64	72.13	70.41	90.40	78.14
PROMEDIO	4.69	6.03	5.21	6.36	6.31	4.81
PROMEDIO - Área superficial de hojas caídas de Molle costeño						5.57

MSS	Muestra de Molle para Sólidos Suspendidos
MST	Muestra de Molle para Sólidos Totales

b. Muestras de *Aptenia cordifolia*

Área Superficial cm ²						
Foliolo	MST - 01	MST - 02	MST - 03	MSS - 01	MSS - 02	MSS - 03
1	8.38	7.33	8.51	5.64	6.40	7.11
2	5.61	6.83	7.40	5.63	7.00	6.88
3	7.15	5.12	5.77	7.67	6.46	6.68
4	4.96	5.58	7.06	7.39	6.36	5.40
5	4.74	5.81	7.30	4.81	6.90	6.77
6	7.69	4.41	5.27	4.55	7.96	5.15
7	5.95	5.54	6.53	6.71	7.17	5.08
8	8.32	5.31	7.90	4.49	3.97	5.82
9	7.31	6.45	7.60	4.56	7.43	6.26
10	5.30	5.27	7.57	4.14	4.76	5.95
11	6.00	8.27	6.25	7.17	4.39	6.81
12	6.67	5.08	6.32	4.78	8.19	5.45
13	5.51	4.53	6.72	4.44	4.97	5.68
14	6.65	4.97	7.16	6.05	4.52	4.90
15	6.28	4.20	8.69	5.24	4.84	5.33
TOTAL	96.52	84.70	106.05	83.27	91.32	89.27

ASS	Muestra de Aptenia para Sólidos Suspendidos
AST	Muestra de Aptenia para Sólidos Totales

3. LONGITUD DE RAMAS POR INDIVIDUO

N° Rama	Longitu de rama (m)				
	A	B	C	D	E
1	1.30	1.44	1.62	1.67	1.86
	0.25	0.35	1.40	0.28	0.90
	0.25	0.30	0.80	0.15	0.36
	1.15	0.79	0.55	0.72	0.89
	0.20	0.25	0.25	0.82	0.75
	0.30	0.15	0.75	0.15	0.20
	0.44	0.43	0.62	0.50	0.32
	0.37	0.20		0.50	
		0.20			
		0.38			
	0.50				
2	1.90	1.15	0.90	0.63	1.47
	1.00	0.35	0.80	0.27	0.25
	1.15	0.42	1.46	0.18	0.45
	0.65	1.60	0.30	1.45	
	0.15	0.36	0.30	0.50	
	1.85	0.83	0.46	0.50	
		0.40	0.34	0.72	
		0.50	0.69		
			0.53		
			0.35		
3	0.52	0.85	0.80	1.26	1.26
	0.50	0.35	0.48	0.50	0.28
	0.60	0.40	1.16	0.25	0.53
	0.30		0.90		0.26
			0.55		
			0.60		

N° Rama	Medida de rama (m)				
	A	B	C	D	E
4	0.35	0.98	0.92	0.18	0.50
	0.27	1.85	0.30	0.14	0.16
	0.40	0.85	0.35		0.30
	0.46	0.3	0.30		
	0.35	0.3			
		0.6			
		0.50			
5	0.80	1.70	0.67	1.84	1.40
	0.55	0.90	0.30	1.06	0.70
	0.45	0.33	0.50	0.60	0.33
	0.36	0.50	0.26		0.75
	0.56	0.83			0.76
	0.23				
	0.30				
6	1.10		0.32	1.40	1.85
	0.38		0.25	1.00	0.50
	0.54		0.30	0.37	0.83
	0.40		0.40	0.55	
	0.37		0.18	0.15	
	0.75		0.60	0.28	
	1.00		0.16	0.15	
	0.18				
7				0.76	1.26
				0.76	0.23
				0.34	0.60
					1.80
					0.53
				0.50	
				0.87	

Árbol	A	B	C	D	E
Longitud Total de Ramas (m)	22.68	21.84	22.42	20.67	23.63

N° Promedio - foliolos por rama L=1m	430.6
--------------------------------------	-------

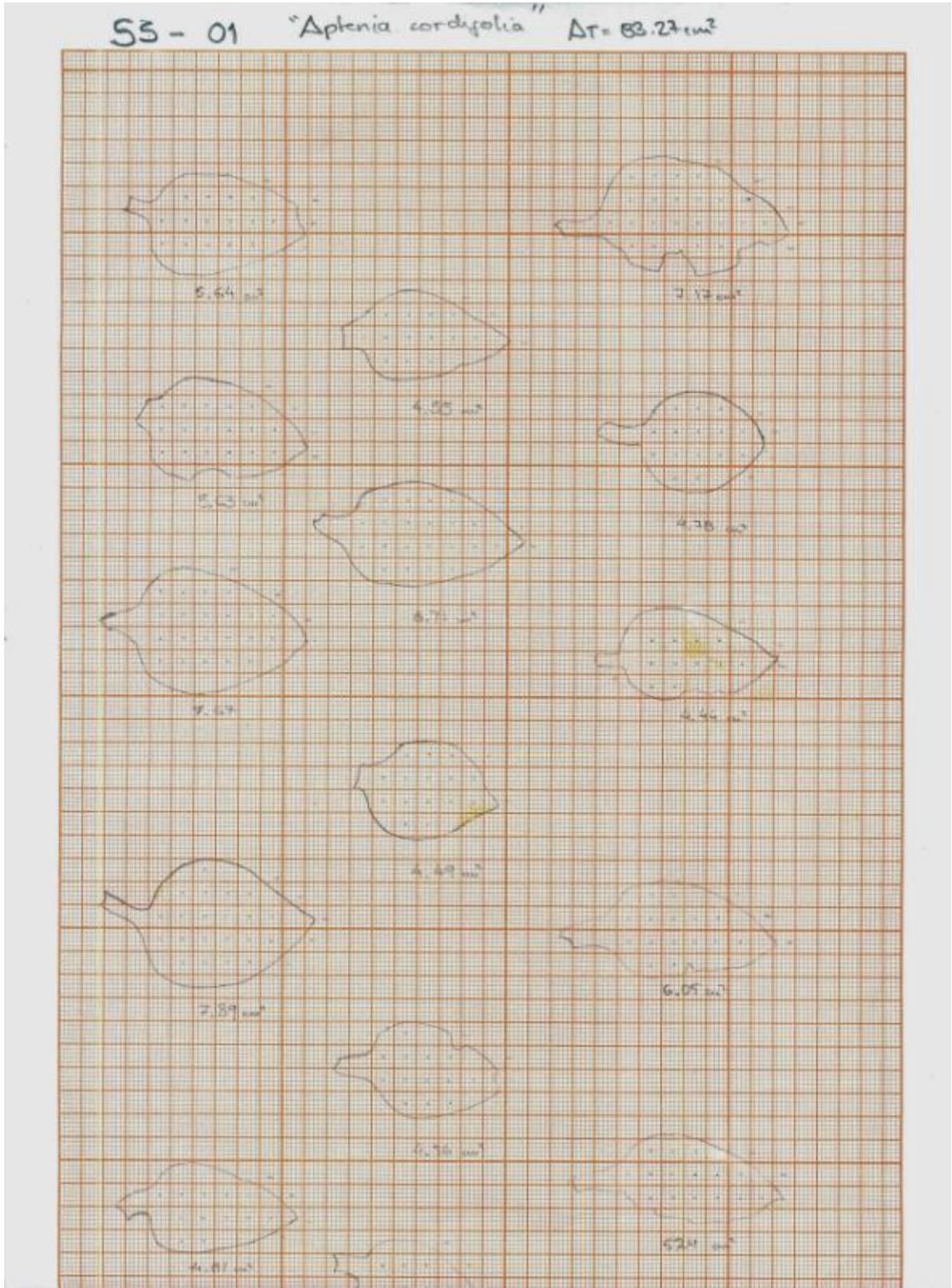
N° Total - Foliolos por Individuo	9766	9403	9652	8900	10176
-----------------------------------	------	------	------	------	-------

N° Promedio - Foliolos por Individuo	9579
--------------------------------------	------

10.6. ANEXO N° 06

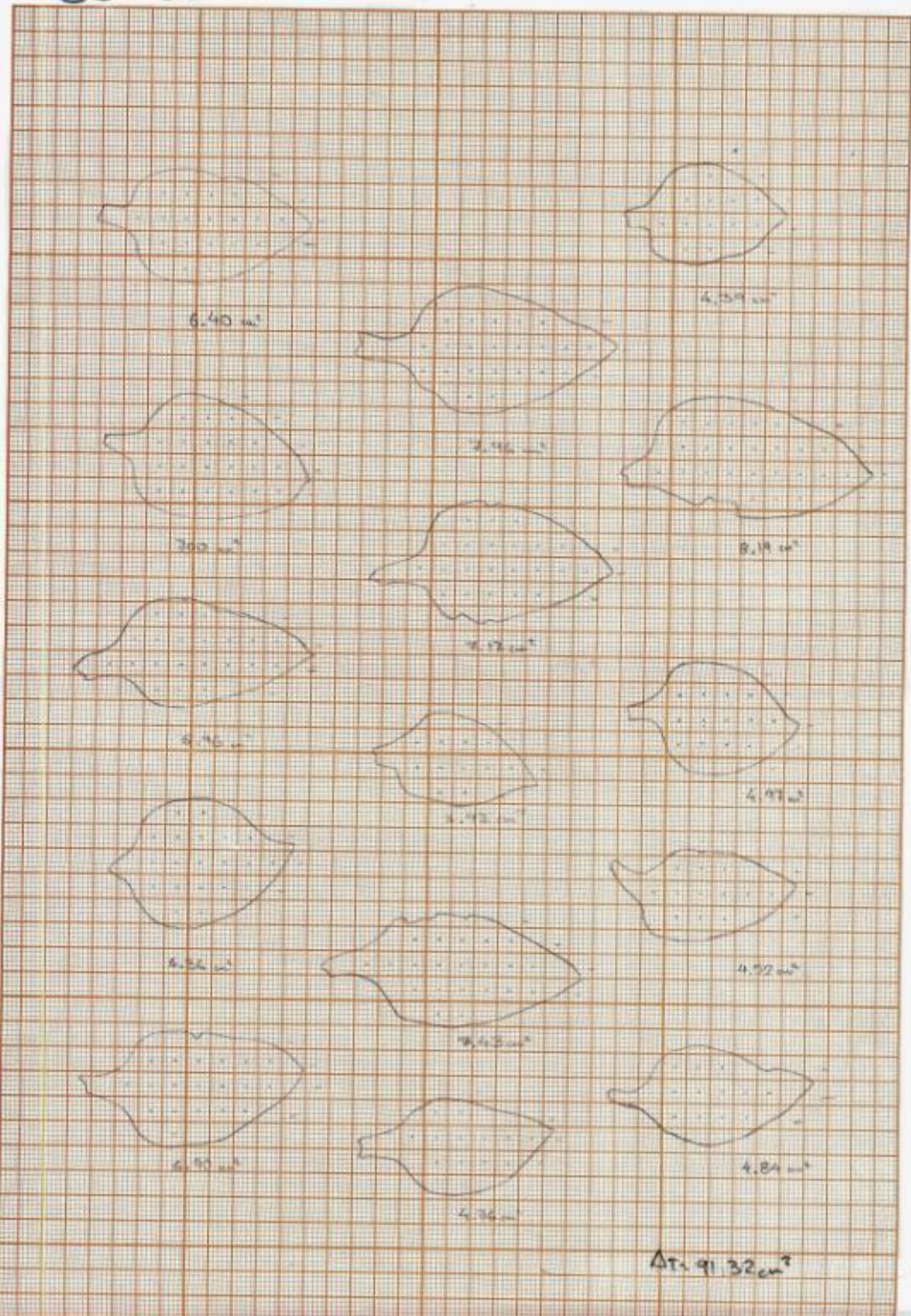
CÁLCULO DE ÁREA SUPERFICIAL DE HOJAS DE *Aptenia cordifolia* y *Schinus terebinthifolius*

Aptenia cordifolia



SS-02

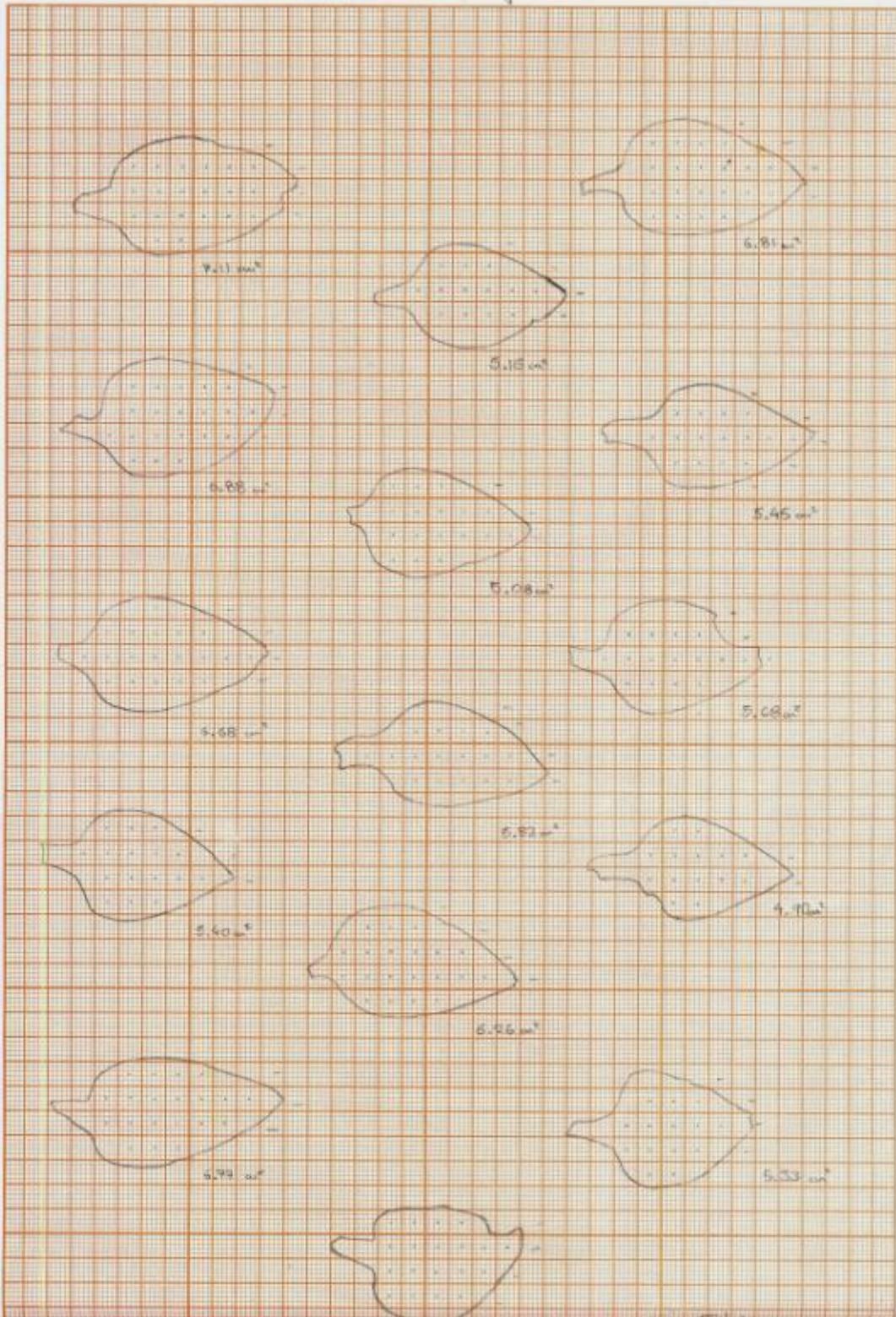
"Aptenia Cordyfolia" $\Delta T = 91.32 \text{ cm}^2$



SS-03

"Aptenia Cordifolia"

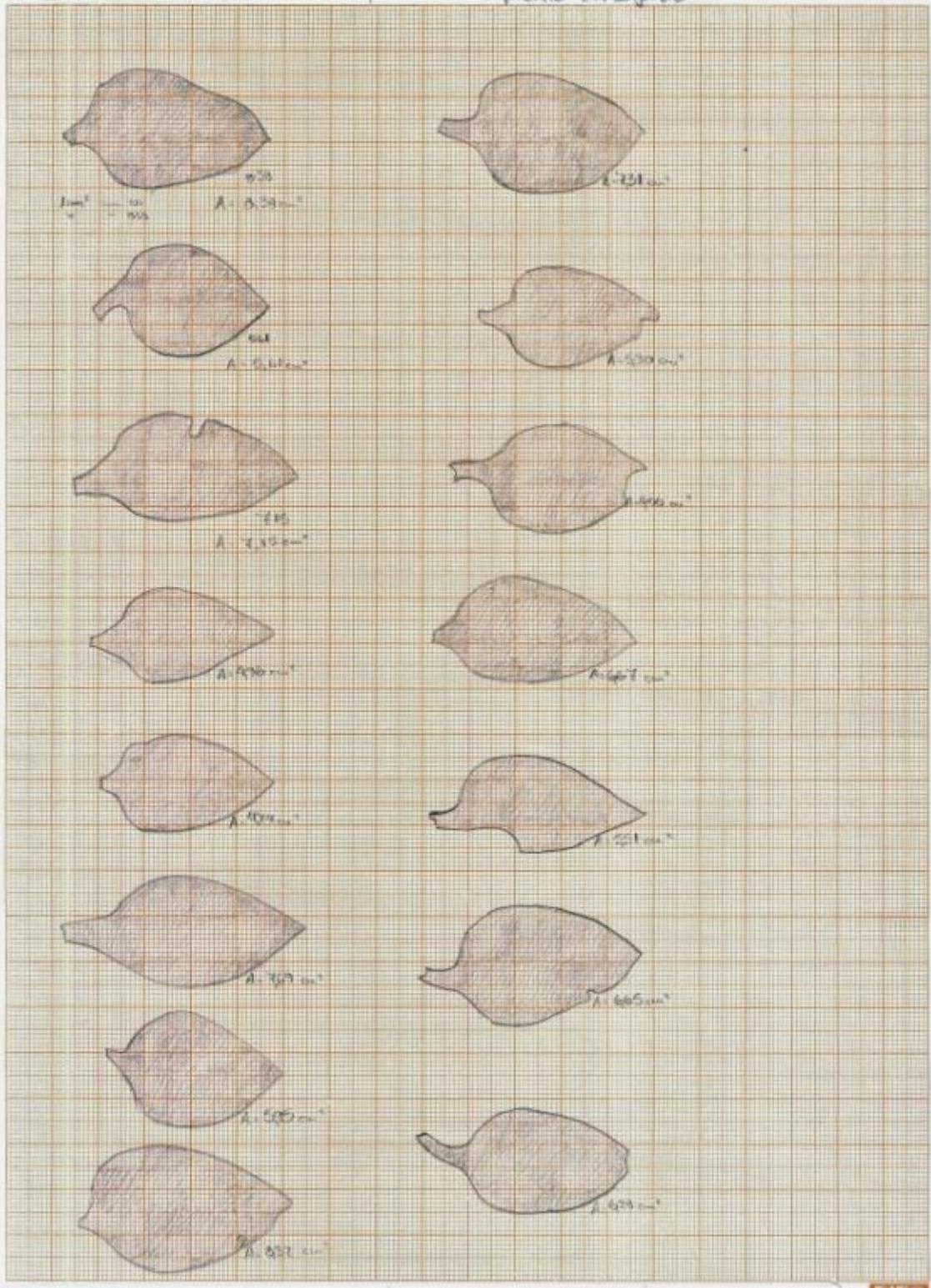
$\Delta r = 89.27 \text{ cm}^2$



ST. 01

At = 76,5 cm²

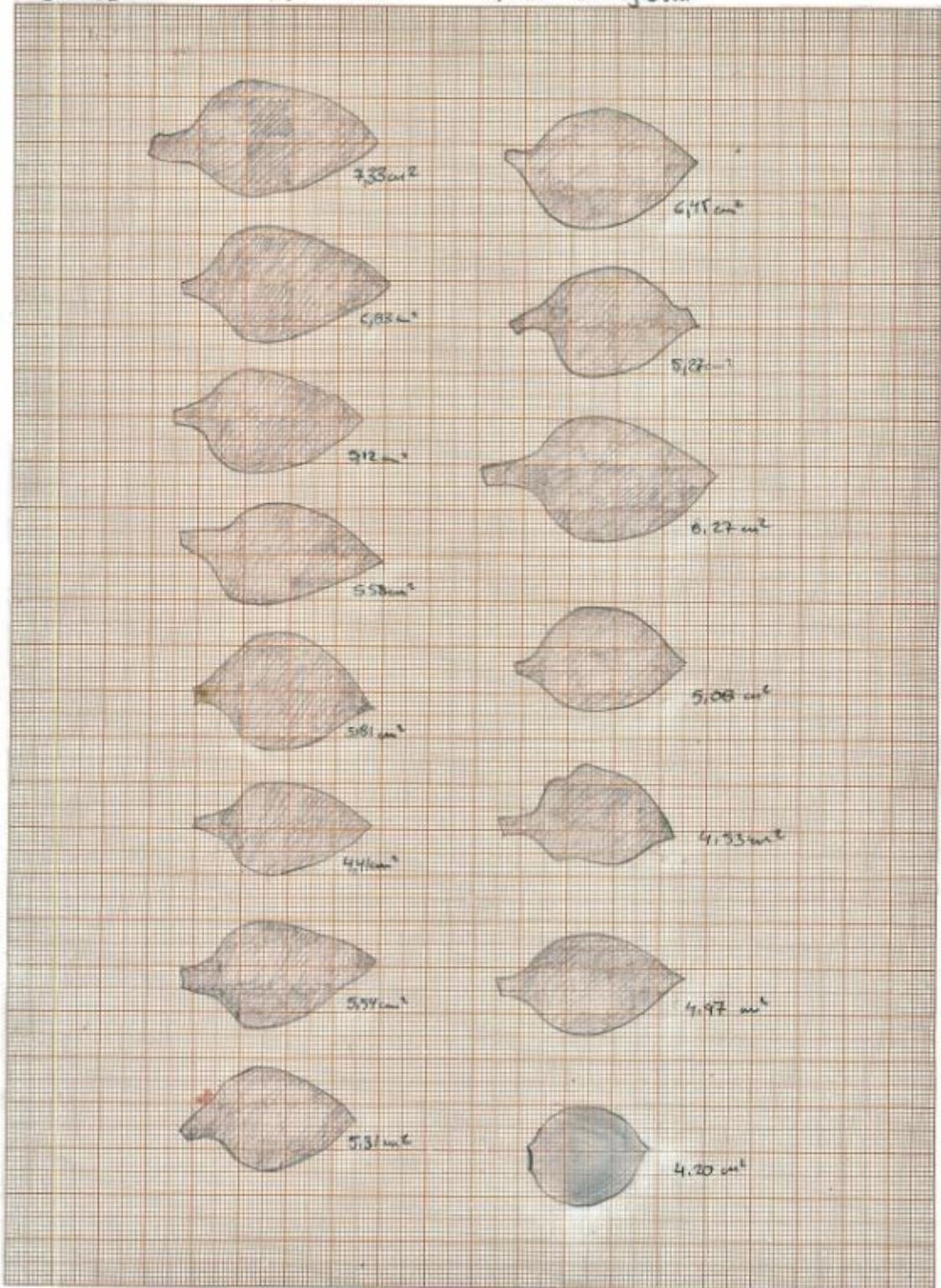
"Aptenia cordifolia"



ST-02

$A_T = 847 \text{ cm}^2$

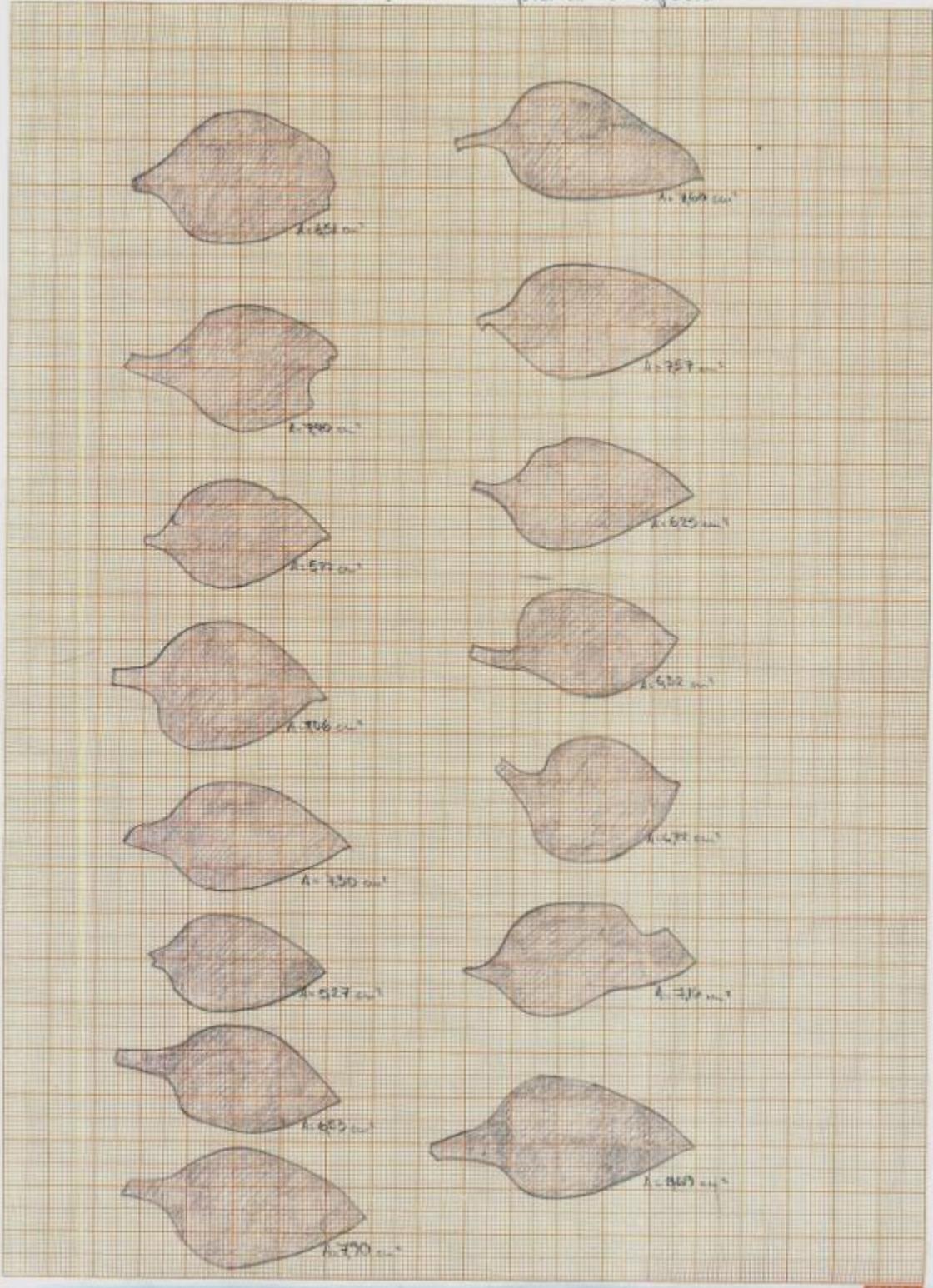
"*Aptenia cordifolia*"



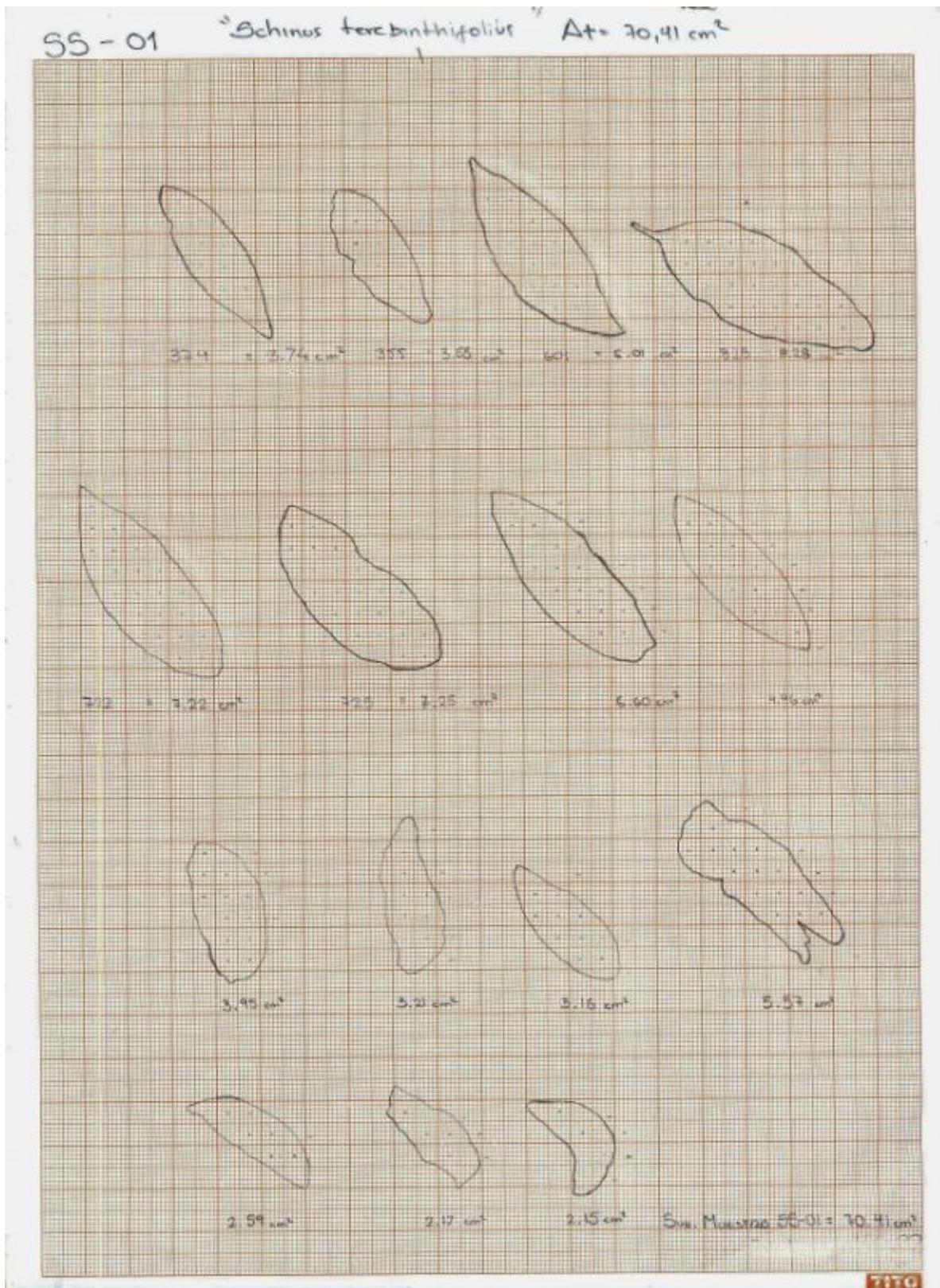
ST-03

A_T = 1064 cm²

"Aptenia cordifolia"

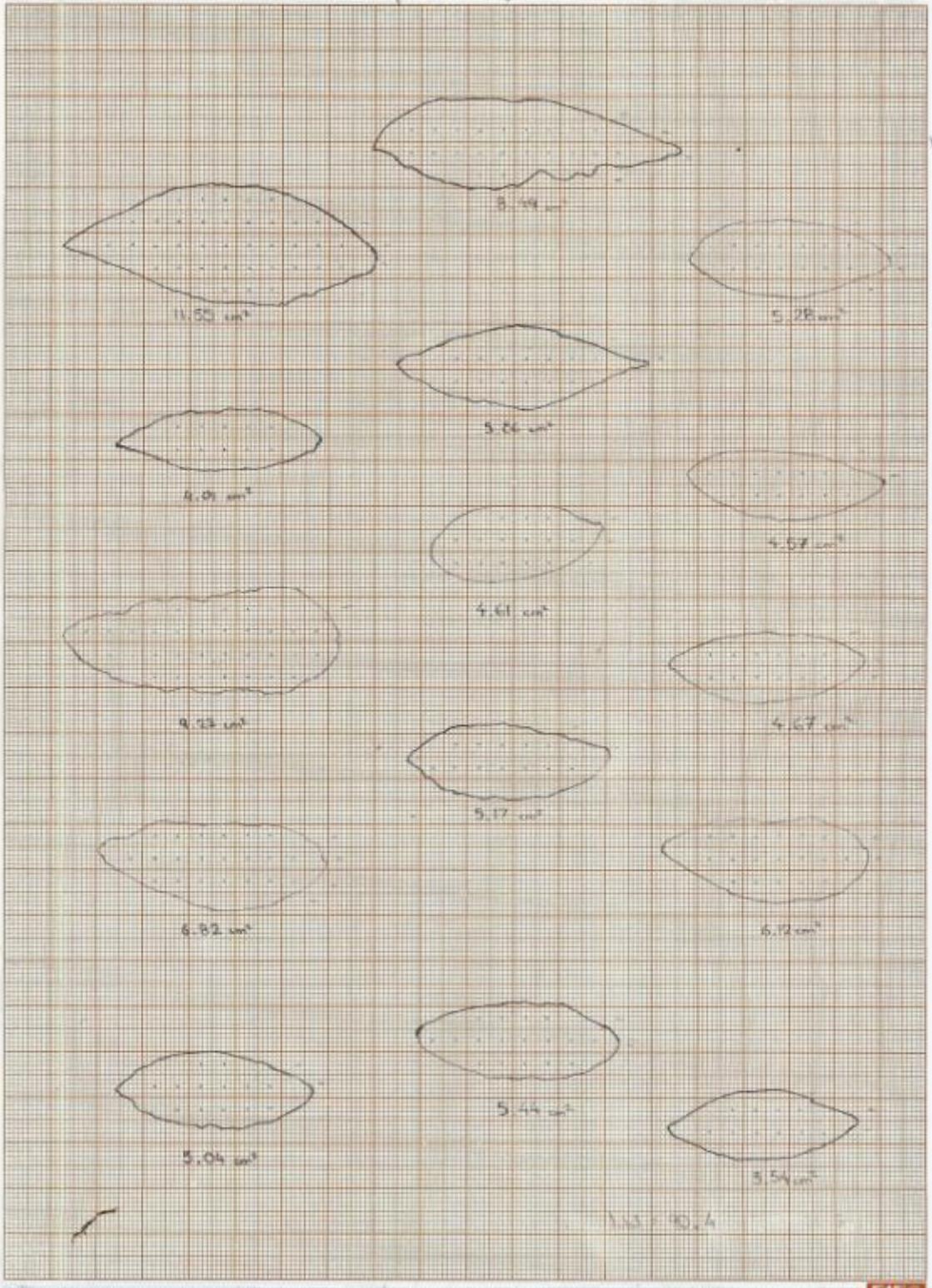


CÁLCULO DE ÁREA SUPERFICIAL DE HOJAS DE *Schinus terebinthifolius* PARA LA EVALUACIÓN DE PAS.

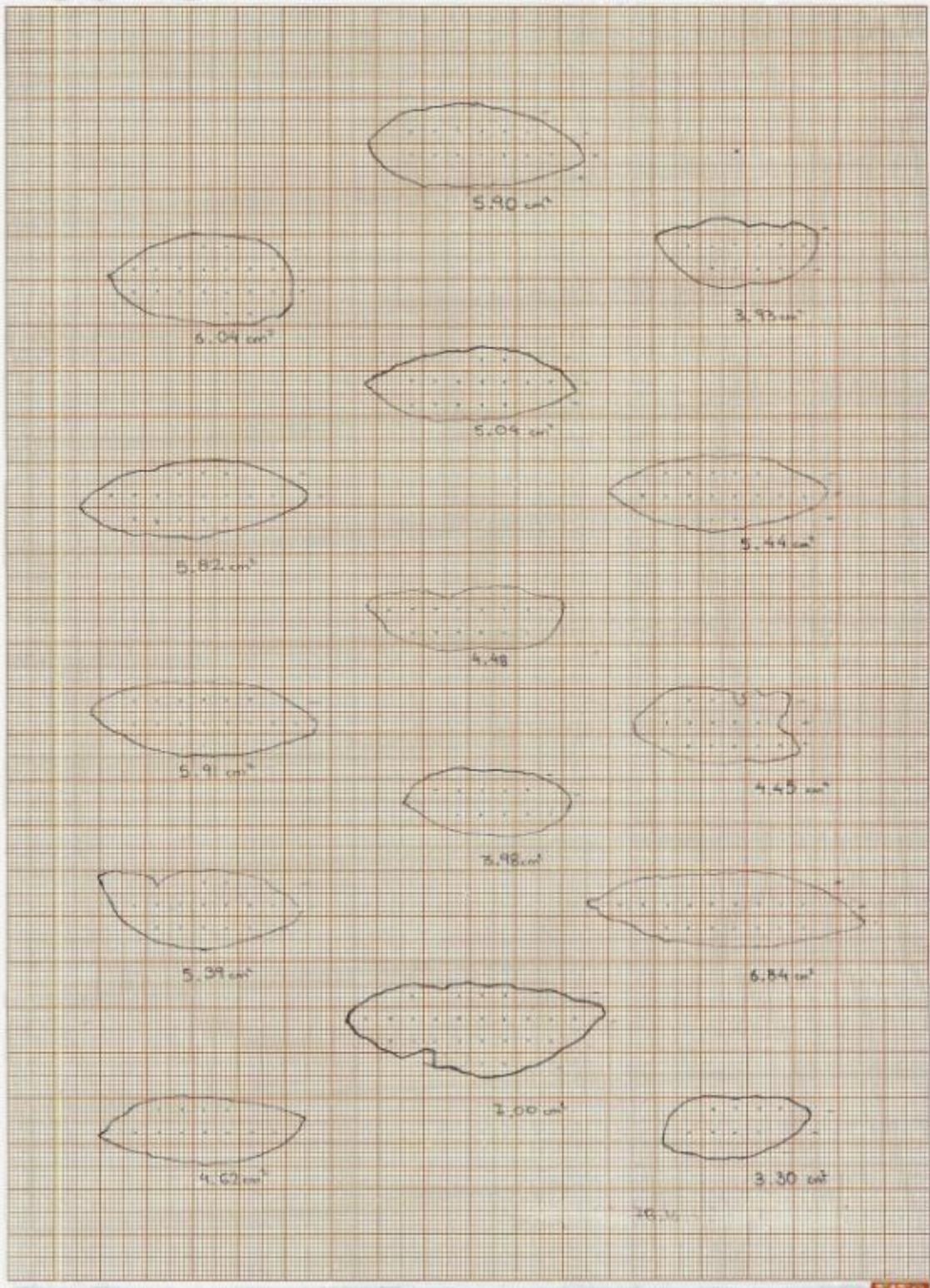


SS - 02

"*Schinus molle*" $\Delta t = 90.4 \text{ cm}^2$



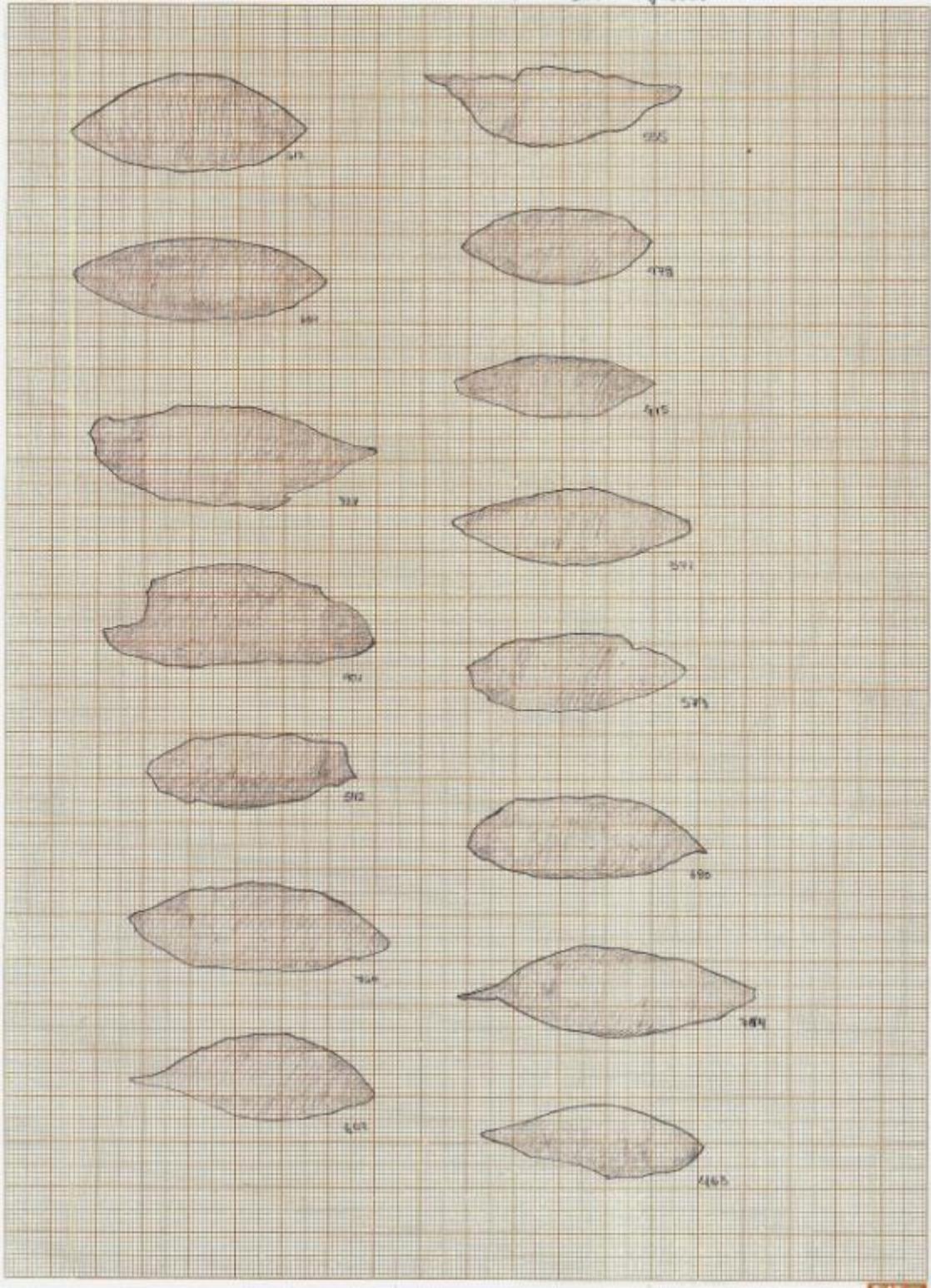
SS-03 "Schinus terebinthifolius" Ar=78.14cm²



ST-01

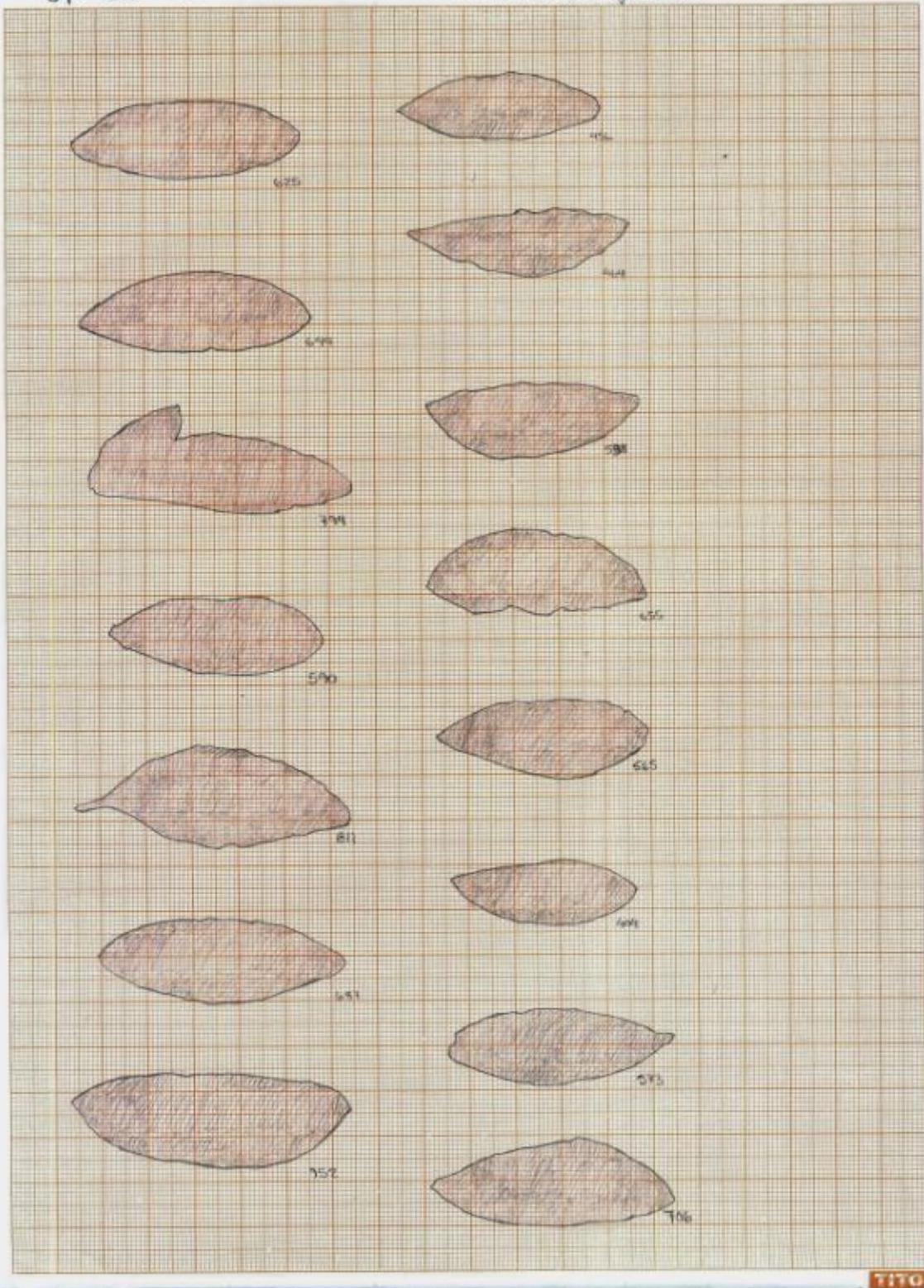
$A_T = 952 \text{ cm}^2$

"Schinus terebinthifolius"



ST- 02 $A_1 = 946 \mu\text{m}^2$

"Schinus terebinthifolius"

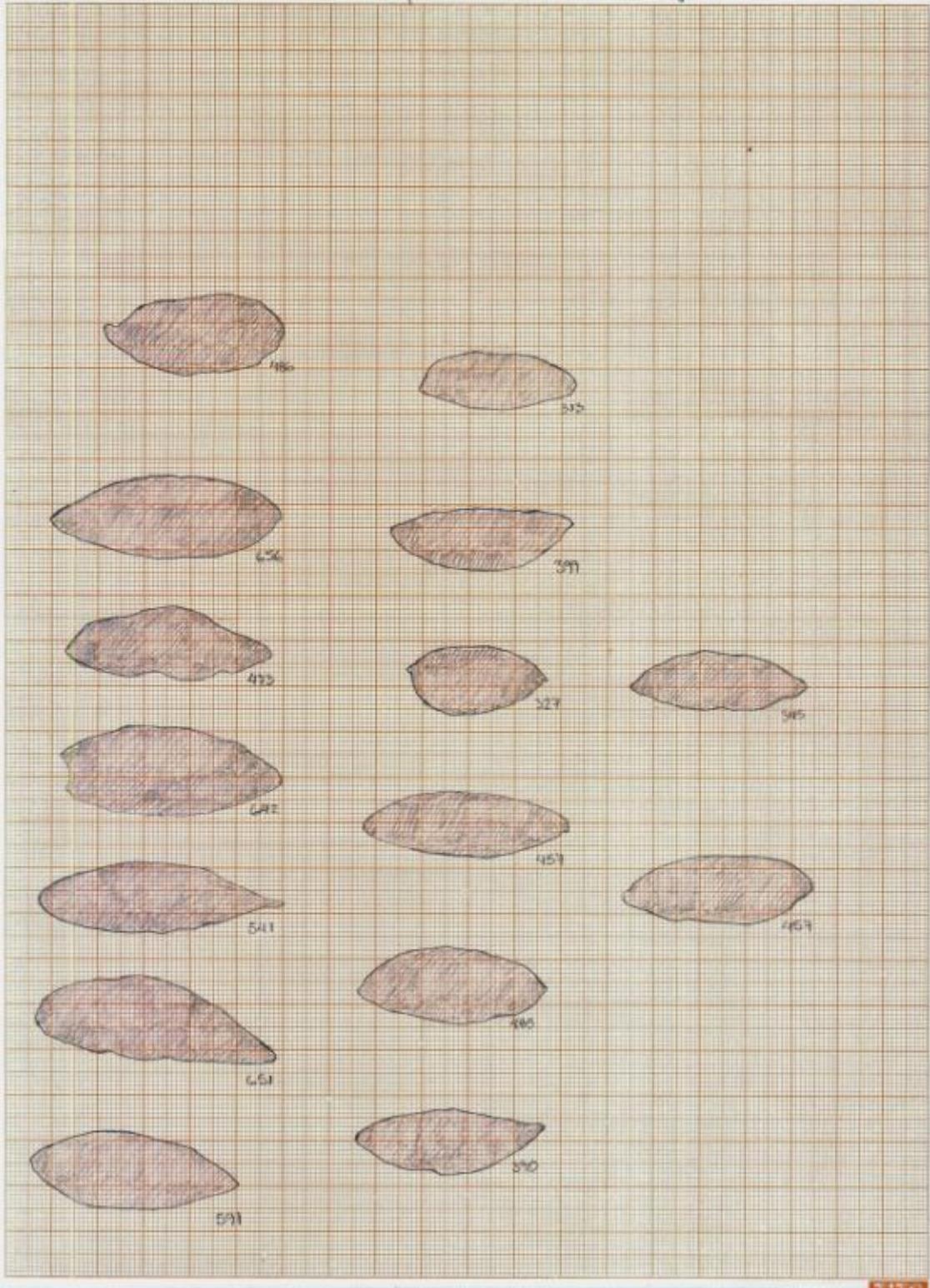


TITO

ST-03

AT: 72,8m²

"Schinus terebinthifolius"



10.7. ANEXO N° 07

PRUEBA T – STUDENT PARA COMPARACIÓN DE DOS MEDIAS EXPERIMENTALES

1. Sumar las concentraciones obtenidas para Molle ($\sum X_1$) y para Aptenia ($\sum X_2$).
2. Calcular la media aritmética de cada grupo de datos:

$$\bar{x} = \frac{\sum X_1}{n} = \frac{3.5425}{3} = 1.1808 \quad \bar{x} = \frac{\sum X_2}{n} = \frac{2.1195}{3} = 0.7065$$

3. Determinación de la Varianza en cada grupo de datos

$$S_1^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} = \frac{(0.6408 - 1.1808)^2 + (1.9947 - 1.1808)^2 + (0.9071 - 1.1808)^2}{3 - 1}$$

$$S_1^2 = 0.5145$$

$$S_2^2 = 0.3508$$

4. Obtener el valor de t_{exp} y los grados de libertad

$$t_{exp} = \frac{(\bar{x}_1 + \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

$$t_{exp} = \frac{(1.1808 + 0.7065)}{\sqrt{\frac{0.5145}{3} + \frac{0.3508}{3}}} = \frac{1.8873}{\sqrt{0.2884}}$$

$$t_{exp} = 3.5141$$

Grados de Libertad

$$GL = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{S_1^4}{n_1^2(n_1 - 1)} + \frac{S_2^4}{n_2^2(n_2 - 1)}\right)}$$

$$GL = \frac{\left(\frac{0.5145}{3} + \frac{0.3508}{3}\right)^2}{\left(\frac{0.5145^2}{3^2(3-1)} + \frac{0.3508^2}{3^2(3-1)}\right)} = \frac{(0.2884)^2}{(0.0147 + 0.0068)}$$

$$GL = 3.8618 \approx 4$$

5. Buscar el valor de t en la tabla de valores críticos de t . al nivel de significancia de 0.05 y con los grados de libertad calculados. (Ver tabla N°).

$$T_{\text{tabla al 95\%}} = 2.78$$

6. El valor de t_{exp} obtenido debe compararse con el valor de tabla. La regla de decisión es:

Ho: $t_{\text{exp}} < t_{\text{tab}} =$ No hay diferencia significativa en la cuantificación de MP por superficie para ambas especies.

7. Resultado:

$T_{\text{exp}}=3.51 > \text{tabla al 95\%} = 2.78$: Hay diferencia significativa en la cuantificación de MP por superficie entre las especies *Schinus terebinthifolius* y *Aptenia cordifolia* al 95 % de confianza.

TABLA DE DISTRIBUCIÓN T-STUDENT

Tabla N° 18: Distribución T-Student para un intervalo de confianza del 95% y con 4 grados de libertad

α \ g.l.	90%	95%	98%	99%
	0.10	0.05	0.02	0.01
1	6.31	12.71	31.82	63.66
2	2.92	4.30	6.96	9.92
3	2.35	3.18	4.54	5.84
4	2.13	2.78	3.75	4.60
5	2.02	2.57	3.36	4.03
6	1.94	2.45	3.14	3.71
7	1.89	2.36	3.00	3.50
8	1.86	2.31	2.90	3.36
9	1.83	2.26	2.82	3.25
10	1.81	2.23	2.76	3.17
12	1.78	2.18	2.68	3.05
14	1.76	2.14	2.62	2.98
16	1.75	2.12	2.58	2.92
18	1.73	2.10	2.55	2.88
20	1.72	2.09	2.53	2.85
30	1.70	2.04	2.46	2.75
50	1.68	2.01	2.40	2.68
∞	1.64	1.96	2.33	2.58