

UNIVERSIDAD  
**CIENTÍFICA**  
DEL SUR

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

“COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS BERGERHOFF Y PLACAS RECEPTORAS  
PARA LA DETERMINACIÓN DEL POLVO ATMOSFÉRICO SEDIMENTABLE EN  
EL DISTRITO DE MIRAFLORES, FEBRERO 2016 – FEBRERO 2017”

Tesis para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

Carlos Alonso Ibazeta Gamarra

Asesor:

Luis Antonio Ibañez Guerrero

Lima – Perú

2019



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Lima, 5 de septiembre de 2019.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. Miguel Antonio Fernandez Sampedro
Integrante: Dra. Susan Mery Medina Canzio
Integrante: Ing. Sebastian Loayza Cardenas

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:  
**Comparación de los métodos Bergerhoff y Placas Receptoras para la determinación de polvo atmosférico sedimentable en el distrito de Miraflores, febrero 2016-febrero 2017.**

Presentado por el bachiller:

- **Carlos Alonso Ibazeta Gamarra**

Para optar el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**

Asesorado por:

- **Ing. Luis Antonio Ibañez Guerrero**

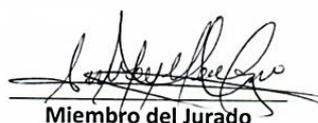
Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Integrante 1: <b>Carlos Alonso Ibazeta Gamarra</b>			Nota (escrito): <i>DIECINUEVE</i>
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena ( )	Aprobado - Sobresaliente (X)	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.

  
Presidente del Jurado

  
Miembro del Jurado

  
Miembro del Jurado

  
Asesor

## 1 DEDICATORIA

A mi mamá, quien siempre me apoyó y quien me enseñó que cada sacrificio tiene una recompensa.

A mis hermanos Marcos y Jorge Miguel, y Nayaj Gámez por su apoyo incondicional durante la etapa de monitoreo y redacción de la tesis. Dándome fuerzas, demostrando su paciencia y amor cuando aparecieron las dificultades.

Para ti amado papito César y amada mamá Chela; un beso y fuerte abrazo al cielo. Gracias por cada sabio consejo que me dieron.

A mis amigos que estuvieron allí cuando más los necesité, les estoy agradecido.

## 2 AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Luis Ibañez y Roxana Díaz por haber confiado en mis capacidades para desarrollar la presente tesis.

A los docentes José Iannacone y Armando Velez, por haberme orientado en la interpretación de los resultados.

A los técnicos de laboratorio Oswaldo y Elvis, que siempre tuvieron la predisposición para apoyarme con materiales en el laboratorio.

A Raúl Vargas y Carlos Pulgar por haberme apoyado en la preparación de los equipos de monitoreo, y a Héctor Gallardo por haberme apoyado en la etapa de campo.

A todas las personas que también contribuyeron de alguna u otra manera a la presente investigación, me encuentro muy agradecido con todos ustedes también.

3	INDICE GENERAL	
1	DEDICATORIA.....	2
2	AGRADECIMIENTOS.....	3
3	INDICE GENERAL.....	4
4	INDICE DE FIGURAS.....	9
5	INDICE DE TABLAS.....	10
6	INDICE DE ANEXOS .....	11
7	RESUMEN.....	13
8	ABSTRACT .....	15
I.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
II.	MARCO TEÓRICO .....	21
2.1.	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	21
2.1.1.	DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA .....	21
2.1.2.	POLVO ATMOSFÉRICO SEDIMENTABLE (PAS) .....	22
2.2.	MÉTODO PASIVO .....	23
2.2.1.	MÉTODO DE PLACAS RECEPTORAS (MPR) .....	24
2.2.2.	MÉTODO BERGERHOFF (MB) .....	25
2.2.3.	COMPARACIÓN DEL MÉTODO PLACAS RECEPTORAS Y BERGERHOFF .....	27
2.2.4.	ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO .....	27
2.3.	CUENCA ATMOSFÉRICA .....	27
		4

2.3.1.	PARÁMETROS METEOROLÓGICOS .....	27
2.3.2.	TOPOGRAFÍA.....	31
2.4.	ESTACIÓN DE MONITOREO .....	32
2.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	32
2.5.1.	NIVEL DE CONFIANZA .....	32
2.5.2.	HIPÓTESIS .....	32
2.5.3.	MUESTREO PROBABILÍSTICO .....	33
2.5.4.	PRUEBA DE NORMALIDAD.....	33
2.5.5.	PRUEBA NO PARAMÉTRICA .....	34
2.5.6.	PRUEBA DE MANN-WHITNEY .....	34
2.5.7.	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA .....	34
2.5.8.	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV).....	35
III.	HIPÓTESIS/OBJETIVOS .....	37
3.1.	HIPÓTESIS.....	37
3.1.1.	Ho: .....	37
3.1.2.	Ha:.....	37
3.2.	OBJETIVO GENERAL .....	37
3.3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	37
IV.	METODOLOGÍA.....	38
4.1.	MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS.....	38

4.2.	MÉTODOS.....	39
4.2.1.	ÁREA DE ESTUDIO.....	39
4.2.2.	PUNTOS DE MONITOREO .....	39
4.2.3.	FUNDAMENTO DEL MÉTODO BERGERHOFF .....	42
4.2.4.	FUNDAMENTO DE PLACAS RECEPTORAS .....	44
4.2.5.	ARMADO DE CASSETAS .....	46
4.2.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	47
V.	RESULTADOS.....	49
5.1.	RESULTADOS DE DATOS VALIDADOS.....	50
5.1.1.	PRIMERA PRUEBA DE NORMALIDAD.....	53
5.1.2.	SEGUNDA PRUEBA DE NORMALIDAD .....	55
5.1.3.	PRUEBA DE MANN WHITNEY .....	55
5.1.4.	ANÁLISIS DESCRIPTIVO .....	57
5.1.5.	ESTACIONALIDAD DE LAS CONCENTRACIONES DEL PAS.....	58
5.1.6.	CONCENTRACIONES DE PAS RESPECTO AL VALOR REFERENCIAL DE LA OMS	
	59	
VI.	DISCUSIÓN .....	61
VII.	CONCLUSIONES.....	66
VIII.	RECOMENDACIONES .....	68
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
X.	ABREVIATURAS .....	86

XI. ANEXOS.....	87
ANEXO 1. FICHA TÉCNICA DE LA BALANZA ANALÍTICA SARTORIUS, MODELO ED224S. .....	87
ANEXO 2. FICHA TÉCNICA DE ESTUFA BINDER APT.LINE KB (E3.1). ....	88
ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	89
ANEXO 4. CONCENTRACIÓN DE PAS DE DATOS ORIGINALES. ....	91
ANEXO 5. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO AURORA (A). ....	103
ANEXO 6. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO CENTRO DE IDIOMAS (CI).....	105
ANEXO 7. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO PARQUE REDUCTO (PR). ....	107
ANEXO 8. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO BONILLA (B) Y CENTRO PROMOTOR (CP).....	110
ANEXO 9. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO HUACA PUCLLANA (HP). ....	113
ANEXO 10. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LOS DATOS ORIGINALES.....	115
ANEXO 11. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE AURORA. ....	116
ANEXO 12. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE CENTRO DE IDIOMAS. ....	117
ANEXO 13. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE PARQUE REDUCTO. ....	118
ANEXO 14. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE MANUEL BONILLA – CENTRO PROMOTOR. .....	119

ANEXO 15. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE HUACA PUCLLANA.....	120
ANEXO 16. PUNTOS DE MONITOREO.....	121
ANEXO 17. CONCENTRACIONES (t/km <sup>2</sup> /mes) DE PAS VALIDADOS. ....	122
ANEXO 18. CONCENTRACIONES (t/km <sup>2</sup> /mes) DE PAS VS LÍMITE DE LA OMS (5 t/km <sup>2</sup> /mes).....	123

## 4 INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caseta de monitoreo .....	47
Figura 2. Precipitado blanco en la muestra Centro Promotor 1. ....	50
Figura 3. Valores atípicos para MPR.....	53
Figura 4. Valores atípicos para MB.....	54
Figura 5. Caseta con techo plano. ....	64

## 5 INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas del método pasivo.....	24
Tabla 2. Puntos de monitoreo. ....	40
Tabla 3. Ubicación de los puntos de monitoreo (WGS-84 18S UTM). ....	42
Tabla 4. Procedimiento del método Bergerhoff en laboratorio. ....	43
Tabla 5. Procedimiento del método de Placas Receptoras en laboratorio.....	45
Tabla 6. Tratamientos por punto de monitoreo. ....	47
Tabla 7. Concentraciones de PAS validados. ....	50
Tabla 8. Primera prueba de normalidad.....	54
Tabla 9. Segunda prueba de normalidad. ....	55
Tabla 10. Prueba de Mann Whitney.....	56
Tabla 11. Estadísticos descriptivos. ....	57
Tabla 12. Prueba de Mann Whitney.....	58
Tabla 13. Cantidad de concentraciones superiores al límite permitido por la OMS. ....	60

6 INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. FICHA TÉCNICA DE LA BALANZA ANALÍTICA SARTORIUS, MODELO ED224S. 87

ANEXO 2. FICHA TÉCNICA DE ESTUFA BINDER APT.LINE KB (E3.1). ..... 88

ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA..... 89

ANEXO 4. CONCENTRACIÓN DE PAS DE DATOS ORIGINALES. .... 91

ANEXO 5. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO AURORA (A). ..... 103

ANEXO 6. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO CENTRO DE IDIOMAS (CI)..... 105

ANEXO 7. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO PARQUE REDUCTO (PR). ..... 107

ANEXO 8. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO BONILLA (B) Y CENTRO PROMOTOR (CP)..... 110

ANEXO 9. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO HUACA PUCLLANA (HP). ..... 113

ANEXO 10. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LOS DATOS ORIGINALES..... 115

ANEXO 11. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE AURORA. .... 116

ANEXO 12. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE CENTRO DE IDIOMAS. .... 117

ANEXO 13. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE PARQUE REDUCTO. .... 118

ANEXO 14. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE MANUEL BONILLA – CENTRO PROMOTOR. .... 119

ANEXO 15. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE HUACA PUCLLANA..... 120

ANEXO 16. PUNTOS DE MONITOREO..... 121

ANEXO 17. CONCENTRACIONES (t/km<sup>2</sup>/mes) DE PAS VALIDADOS. .... 122

ANEXO 18. CONCENTRACIONES (t/km<sup>2</sup>/mes) DE PAS VS LÍMITE DE LA OMS (5  
t/km<sup>2</sup>/mes)..... 123

## 7 RESUMEN

En la presente investigación se planteó la comparación del método Bergerhoff (MB) y el método de Placas Receptoras (MPR), ambos métodos pasivos de bajo costo y fácil manejo, para determinar la concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) con el fin de saber si ambos métodos son comparables.

El MB capta el PAS a través de contenedores de plástico de 1.8 litros llenados con 200 ml de agua destilada con Alguicida; mientras que el MPR capta el PAS a través de placas de vidrio de 10x10 cm con una lámina de vaselina encima dentro de casetas de material reciclado.

Ambos métodos fueron expuestos al ambiente durante 30 +/- 2 días, luego las muestras fueron selladas y analizadas en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur.

Siguiendo las normas establecidas dentro del manual de la Swisscontact (2001), se establecieron cinco puntos de monitoreo con tres características distintas (dos puntos residenciales, un punto de alto tránsito, un punto de alta generación de polvo y un punto costero) ubicados en locales municipales. Se establecieron tres repeticiones para cada método en cada punto de monitoreo según Electronic Code of Federal Regulations (2015).

Respecto a los valores obtenidos del monitoreo entre ambos métodos y el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (5 t/km<sup>2</sup>/mes), el MB presentó un 64% de concentraciones que excedieron la normativa en comparación al MPR con un 39%.

Esto guarda relación con la media del MB con 6.16 t/km<sup>2</sup>/mes y del MPR con 4.81 t/km<sup>2</sup>/mes.

Mediante el análisis descriptivo y Mann Whitney, con un nivel de confianza de 95%, se determinó que existe diferencia significativa entre ambos métodos. Es así como, el MB es más eficiente para monitorear PAS.

La presente investigación se llevó a cabo desde febrero del 2016 hasta febrero del 2017, en el distrito de Miraflores.

Palabras claves: Métodos Pasivos, Bergerhoff, Placas Receptoras, Polvo Atmosférico Sedimentable, OMS, Miraflores.

## 8 ABSTRACT

The following research study assess the comparisson between the Bergerhoff Method (BM) and the Receptor Plate Method (RPM). Both of them are low cost and easy handling passive methods and to determine dustfall.

The BM captures the Sedimentary Atmospheric Powder (SAP) through plastic containers of 1.8 liters, filled with 200 ml of distilled water with algaecide. On the other hand, the RPM method captures the SAP with glass plates of 10x10 cm covered with a film of vaseline on top that goes inside the recycled material booths.

Both methods were exposed to the environment during 30 +/- 2 days, next the samples were sealed and analyzed in the Environmental Engineering laboratory of the Scientific University of the South.

According to the norms stablish in the Swisscontact Guide (2001), 5 monitoring points were installed. These were located in municipal premises, all with different characteristics (2 points in residential areas, 1 in a high transit point, 1 point in an area with high dust generation and 1 point in coastal area).

Three repetitions were installed for each method at each monitoring point according to the Electronic Code of Federal Regulations (2015).

Regarding the values obtained between the two methods and the limit established by the World Health Organisation (WHO) (5 t/km<sup>2</sup>/month), the BM presented a 64% of concentrations that exceded the norm in comparison to the RPM with 39%.

This is related to the average of the BM of 6.16 t/km<sup>2</sup>/month and of RPM with 4.81 t/km<sup>2</sup>/month.

Using descriptive analysis and Mann Whitney, with a 95% confidence level, it was determined that there is a significant difference between both methods. The BM was more efficient to monitor SAP.

The following research study was developed between February 2016 until February 2017, in the district of Miraflores.

Key words: Passive methods, Bergerhoff, Miraflores, Receptor Plates, Sedimentary Atmospheric Powder, WHO.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las partículas sedimentables son aquellas partículas sólidas que están presentes en el aire y que pueden sedimentar sobre una superficie; este se encuentra formado por polvo, polen, hollín, humo, etc. (Lozano, 2013).

En 1976, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) determinaron que todas las ciudades (93 ciudades de Latinoamérica) que contaban con estaciones de monitoreo de la REDPANAIRE (Red Panamericana de Muestreo de la Contaminación del aire), presentaban promedios mensuales mayores al nivel de referencia (0.50 mg/cm<sup>2</sup> o 5 t/km<sup>2</sup>).

Luego años más tarde, Chipoco y Valencia (2015) afirmaron que el promedio de PAS en el Perú no solo resulta ser uno de los más altos de la región sino también de Latinoamérica.

En el caso específico para Lima Metropolitana, el 71% de las 42 municipalidades no supervisan ni fiscalizan la contaminación del aire (Caruajulca, 2016).

Esto es crítico debido al boom inmobiliario que hay en la ciudad la cual ha traído consecuencias negativas en la calidad del aire debido al PAS desde el inicio de la construcción hasta la ocupación de la obra (Hildebrandt Gruppe, 2016), y además del transporte ineficiente de materiales de construcción, así como el desmonte.

Por otro lado, tenemos también la resuspensión de PAS en las vías pavimentadas (Zapata, Quijano, Molina, Rubiano & Londoño, 2008), deficiente disposición final de residuos sólidos (RR.SS.), pistas en mal estado o sin pavimento, actividades comerciales y limpieza pública (SENAMHI, 2008a).

El PAS contribuye a la erosión y ensuciamiento de edificios, materiales y pintura; en consecuencia, incrementando el gasto por limpieza y mantenimiento (World Bank Group, 1998), también afecta considerablemente a la vegetación, el suelo y empobrece el paisaje (Villacrés, 2015).

Sin embargo, Lima Metropolitana se encuentra favorecida por el efecto de la brisa marina permitiendo la dispersión del PAS hacia el este (Silva & Montoya, 2004). Además, Vizcarra (2013) reafirma que la cuenca del Rímac muestra una buena capacidad de dispersión horizontal, dinamizada por los vientos provenientes del mar.

Adicionalmente, para el caso de Lima Metropolitana hay que incluir el efecto de la capa de inversión térmica sobre los procesos de dispersión del PAS (Pérez & Rodas, 2015) que varía según la estacionalidad.

Es importante analizar la deposición atmosférica (DA), ya que esta es la forma más importante de contaminación debido a los procesos de transporte (Rueda, 2015), y además la concentración del contaminante no depende solo del aporte in situ sino que esta puede provenir a su vez de otros lugares por acción el viento (Silva & Montoya, 2004).

Siendo a través del análisis de la DA que podemos obtener las concentraciones de estos contaminantes (Corleto & Cortez, 2012) cuando no se cuenta con el presupuesto y/o capacidad técnica para el uso de otros métodos.

El MB cuenta con una norma técnica en Alemania VDI 2119 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2012). Este método consiste en el cambio de muestras cada 30 +/- 2 días con PAS en el recipiente y deben ser situados a una altura de 1.5 m – 3 m en ubicaciones sin restricción del libre flujo del aire (Swisscontact, 2001).

Por otro lado, el MPR ha sido usado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) a partir del proyecto VICON (Vigilancia de la contaminación del aire en Lima-Callao por PAS) (Silva, 2013) hasta antes de la instalación de las estaciones automáticas. Este método consiste en captar materiales sedimentables a través de una lámina de vidrio untada con una película de grasa al aire libre (Vizcarra, 2013). El cambio de la muestra es cada 30 +/- 2 días.

A la fecha el SENAMHI se encuentra en transición determinando contaminantes de diámetro más pequeño mediante mecanismo automatizados a través del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del aire aprobado en el Perú (D.S. 003-2017-MINAM), esto se ve reflejado en sus últimos boletines de la Calidad del Aire en Lima y Callao al no monitorear PAS debido a que este no se encuentra dentro de la lista de contaminantes del ECA del Aire.

Pero, el uso de muestreadores pasivos sigue siendo importante ya que permite conocer la distribución de contaminantes en la zona de estudio (Narcizo, 2002) es decir, nos permite realizar un diagnóstico de la caracterización del contaminante e identificar las zonas más críticas (SENAMHI, 2013c).

Tomando en cuenta ambos métodos, la presente tesis aborda como tema de investigación la comparación de dichos métodos pasivos, de bajo costo y fácil manejo, con el fin de llevar a cabo la cuantificación de PAS. A través de la determinación del polvo sedimentable en cinco puntos críticos de distintas características (costero, residencial, alto tránsito y alta generación de polvo), análisis de medias, varianza y coeficiente de variación; siendo estas variables las que permitan establecer el nivel de rendimiento para cada metodología con el fin de obtener la más adecuada.

El área de estudio fue el distrito de Miraflores ubicado en Lima metropolitana. Los sitios seleccionados fueron locales municipales y comprenden 5 puntos de muestreo usando ambos métodos, mediante tres repeticiones por método durante un año.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Es la presencia en la atmósfera de contaminantes primarios o secundarios en cantidades y duraciones tales que puedan afectar a los humanos, animales, vegetación y la propiedad (Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico, 2013).

Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (2013) estos contaminantes se clasifican en:

- Primarios: Vertido directamente a la atmósfera por alguna fuente de emisión.
- Secundarios: Originados a través de la transformación y reacciones químicas que sufren los contaminantes primarios en la atmósfera.

El polvo cuando se deposita directamente sobre la superficie de las hojas reduce la capacidad de fotosíntesis de la planta, en consecuencia, afecta el crecimiento de la misma (World Bank Group, 1998). Además, mientras más fina sea la partícula esta presenta mayor capacidad de ingresar al sistema respiratorio (Marcos, Cabrera, Laos, Mamani & Valderrama, 2008).

#### 2.1.1. *DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA*

Es un aporte importante de sustancias tóxicas al ambiente y aguas superficiales. La cuantificación de esta deposición es necesaria para evaluar los riesgos sobre el ambiente y la salud humana (Puente, 2010).

##### *a. SEDIMENTACIÓN SECA*

Las partículas se depositan por impacto directo y por sedimentación gravitacional, en un período de tiempo seco (Puente, 2010).

### ***b. SEDIMENTACIÓN HÚMEDA***

Este tipo de sedimentación recoge agua de lluvia; el contaminante llega disuelto en gotas de lluvia o por arrastre de la lluvia, en un período húmedo (Puente, 2010).

### ***c. SEDIMENTACIÓN GLOBAL***

La deposición global se define como la suma de la sedimentación seca y húmeda (Puente, 2010).

#### ***2.1.2. POLVO ATMOSFÉRICO SEDIMENTABLE (PAS)***

El PAS pertenece al grupo de partículas de hasta un diámetro de 100 micras, siendo las de mayor tamaño que rápidamente sedimentan mientras que las más finas pueden ingresar al sistema respiratorio (Silva & Montoya, 2004).

Este contaminante está constituido por partículas contaminantes sólidas que se depositan en forma de polvo en diferentes superficies o flotan suspendidas en el aire por los vientos de las zonas urbanas (Lima Como Vamos, 2012).

La generación de este contaminante se debe al origen de las fuentes emisoras, que pueden ser fijas o móviles (Gallo, 2003). Tales como: la industria de la construcción, desgaste de llantas y frenos de los vehículos, ineficiente disposición final de RR.SS., pistas en mal estado o sin pavimento, actividades comerciales y de limpieza pública (MINSa, 2013); así como aerosoles marinos y biogénicos (Martín, 2005). Cabe resaltar que el comportamiento de estas fuentes depende en su mayoría por los fenómenos meteorológicos (Jereb, Marzi, Cepak, Katz & Poljšak, 2009).

Además, es importante el monitoreo del PAS, para las autoridades y público en general, debido que permite saber si las medidas de mitigación que están en desarrollo son adecuadas para mantener los niveles de PAS bajos (Annegarn, 2015)

Inclusive, la OMS señala al PAS, como parámetro de evaluación de la calidad del aire (Chipoco & Valencia, 2015).

#### ***a. NORMATIVA***

El Perú no cuenta con una norma respecto al valor referencial para PAS. Sin embargo, instituciones como Dirección General de Salud Ambiental DIGESA y SENAMHI usan la normativa de la OMS (5 t/km<sup>2</sup>/mes) (Marcos & Valderrama, 2008).

#### ***2.2. MÉTODO PASIVO***

Es ampliamente utilizado para la evaluación de contaminantes en el aire, especialmente en países en desarrollo, debido al bajo costo y simple manejo a diferencia de los métodos convencionales (analizadores automáticos y equipos activos manuales) (Zapata, Quijano, Molina, Rubiano & Londoño, 2008) (ver tabla 1).

Los muestreadores pasivos tienen la ventaja de dar una buena imagen global de las concentraciones medias de contaminantes; normalmente dan largos períodos de promedio (1-4 semanas) (US-EPA, 1998 citado por Martins, 2014).

Con esto se puede saber cuál es la cantidad de áreas a ser seleccionadas para programas de monitoreo detallado (DIGESA, 2005), como el identificar lugares críticos, de alta concentración de contaminantes en vías de alto tráfico o áreas industriales (Serrano, 2006).

Tabla 1. Ventajas y desventajas del método pasivo.

Método	Ventajas	Desventajas
Muestreadores pasivos	Muy económicos.	No han sido probados en ciertos contaminantes.
	Muy simples.	Otorgan promedios mensuales y semanales.
	No dependen de cables de electricidad	Requieren mano de obra intensiva para su funcionamiento y análisis.
	Se pueden colocar números muy grandes.	No se cuenta con algún método de referencia para monitorear el cumplimiento.
	Pueden usarse para sondeos, mapeos y estudios de línea de base.	Lenta generación de datos.

FUENTE: OEFA. (n.f.). Equipos de medición de la calidad del aire. MINAM. Perú.

### 2.2.1. MÉTODO DE PLACAS RECEPTORAS (MPR)

Técnica de muestreo pasivo ampliamente usada para conocer la contaminación atmosférica de una zona (UCSUR, 2015), en el cual se usa una lámina o placa con un adherente (elemento sensible) como la vaselina, en donde quedará atrapado el PAS (Corleto & Cortez, 2012).

Existen diferentes tipos de Placas Receptoras como la usada por Ramos (2017) hecha a base de polipropileno o según Vizcarra (2006) se pueden usar placas Petri u hojas de aluminio y también pueden ser de vidrio (Corleto & Cortez, 2012).

Este método ha sido desarrollado ampliamente por el SENAMHI en Lima Metropolitana emitiendo boletines mensuales como por ejemplo los del año 2008 en los meses de mayo y agosto (SENAMHI, 2008a, 2008b), y también en otras regiones del Perú como es el caso de la ciudad de Iquitos (SENAMHI, 2013a). Así mismo, encontramos boletines meteorológicos e hidrogeológicos del Perú analizando PAS con Placas Receptoras (SENAMHI, 2004a, 2004b).

En la investigación de Silva y Montoya (2004) analizaron la relación entre el comportamiento estacional del contaminante sólido sedimentable (CSS) o PAS con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona Metropolitana de Lima-Callao; haciendo uso del MPR en distintos puntos de la zona mencionada.

Por otro lado, Roncal (2008) utilizó este método para monitorear Contaminante Sólido Sedimentable en Celendín - Cajamarca, Lozano (2013) midió la concentración de partículas sedimentables en la ciudad de Moyobamba con Placas Receptoras y Ramos (2017) también usó este método para determinar PAS en la ciudad de Tingo María.

### 2.2.2. *MÉTODO BERGERHOFF (MB)*

Método Estándar Alemán VDI 2119 (Byrne, n.f.). Técnica de muestreo pasivo que se lleva a cabo en la mayoría de sitios de residuos, vertederos y sitios de construcción (Odour Monitoring Ireland, 2014) permitiendo medir los materiales y las cantidades que son emitidas (Munich Airport, n.f.).

El principio del presente método se basa en la entrada de la materia atmosférica que se determina exponiendo el recipiente colector durante un periodo predeterminado el cual colecta partículas depositadas por vía seca y húmeda (Cappelletti, Tatone & Astoviza, 2017), por lo general durante un mes. La muestra se concentra por evaporación y el residuo seco se determina gravimétricamente (Forschungsstelle für Umweltbeobachtung, n.f.).

Almanza y Cerro (2016) utilizaron este método para estimar los contaminantes atmosféricos producto de la construcción de un nuevo bloque en la Universidad Popular del Cesar en Colombia. Cepak y Marzi (2009) analizaron la deposición de polvo en el Puerto Koper con MB respecto a la distancia de la fuente y parámetros meteorológicos, Bermeo (2016) determinó la cantidad de material particulado sedimentable con parámetros meteorológicos en trece estaciones de la ciudad de Ambato usando MB.

En Irlanda la EPA requiere medidores Bergerhoff como método de referencia para determinar la deposición de polvo (Martins, 2014). También se ha usado para determinar las cargas de deposición de Ag, Al, As, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, In, K, La, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, S, Sc, Se, Th, V y Zn descartando lo establecido por el Comité Europeo de Normalización que establecía la determinación solo de Cd, Cu, Pb, Tl y Zn (Thöni, Krieg & Siewers, 1999). Además, este método es usado en países como Alemania y Suiza (Bermeo, 2016).

Para el caso del Perú, Narcizo (2002) recomienda muestreadores pasivos para conocer la distribución de los contaminantes, haciendo referencia al método de Jarras o Bergerhoff para el monitoreo de Partículas Sedimentables como un estudio primario y luego usar métodos activos para un análisis más profundo.

En general, el MB es una metodología internacional establecida y usado extensivamente para calcular el potencial de los efectos tóxicos en el suelo y vegetación por la deposición del polvo (Golder Associates, 2007).

### 2.2.3. *COMPARACIÓN DEL MÉTODO PLACAS RECEPTORAS Y BERGERHOFF*

En la Universidad de El Salvador se implementó la misma comparación en el campus de la universidad, teniéndose como resultado y a través de pruebas estadísticas que el método Bergerhoff presentó una mayor precisión para medir polvo atmosférico sedimentable (Corleto & Cortez, 2012).

### 2.2.4. *ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO*

Método analítico cuantitativo en el cual la determinación de las sustancias se realiza por diferencia de pesos. Este análisis consta en pesar el filtro antes y después del monitoreo con una balanza a temperatura y humedad relativa controlada (Marcos, Cabrera, Laos, Mamani & Valderrama, 2008).

## 2.3. CUENCA ATMOSFÉRICA

El Departamento de Calidad Ambiental del gobierno de Idaho - EE. UU. (n.f.) define a una cuenca atmosférica como un área cubierta por un volumen de aire que presenta características similares y está separada de otros volúmenes de aire por los patrones climáticos o topográficos.

En la zona metropolitana de Lima-Callao se han identificado tres cuencas hidrográficas: Cuenca del río Chillón, río Rímac y río Lurín (SENAMHI, 2004b).

### 2.3.1. *PARÁMETROS METEOROLÓGICOS*

Estos son factores decisivos y que se deben observar con detenimiento, debido que afectan en gran medida a la dispersión de los contaminantes (Remón, 2005). En la costa

peruana, la influencia del Anticiclón del Pacífico Sur da lugar a la afloración de masas de agua y temperaturas frías en la superficie del mar, limitando la precipitación sobre la ciudad de Lima, generando aridez, nubosidades bajas y alta humedad relativa (García & Tantaleán, 2008).

En la zona de Lima Metropolitana durante el verano se limitan los procesos de dispersión mientras que en invierno hay una mejor dispersión del PAS debido a la Capa de Inversión Térmica por subsidencia (Silva & Montoya, 2004).

Además, cabe resaltar que el valle del río Rímac se encuentra limitada por el oeste y este por el mar y la cordillera de los Andes, por el sur y norte influenciado por la cuenca de Lurín y Chillón afectando la dispersión horizontal de los contaminantes (Vizcarra, 2006).

#### ***a. TEMPERATURA***

La temperatura está relacionada de forma inversa con la concentración, de modo que el incremento de la primera supondrá un descenso proporcional del gradiente de concentración (Pérez, González & Miñana, 1993) del contaminante.

El factor determinante de la estabilidad atmosférica se debe a la variación de la temperatura (Casas & Alarcón, 1999), y se encuentran en tres estados de equilibrio: estable, inestable e indiferente o neutro (Zúñiga & Crespo del Arco, 2010).

Cuando la formación de una nube es poco desarrollada y no continúa creciendo hablamos de una atmósfera estable. Por el

contrario, si la nube tiene suficiente desarrollo vertical y puede producir precipitación es una atmósfera inestable (Casas & Alarcón, 1999). Mientras que la condición de atmósfera neutra se caracteriza por días nublados o noches con vientos moderados (Gallego, González, Sánchez, Fernández, Garcinuño, Bravo, Pradana, García & Durand, 2012).

Lima Metropolitana se caracteriza por presentar el fenómeno de la inversión térmica, este fenómeno es un cambio en la tendencia normal del aire, el cual se enfría con la altitud; es decir, la temperatura aumenta con la altitud en determinado estrato atmosférico (García, Ramírez, Ulloa, Arias & Pérez, 2012).

Según Silva & Montoya (2004), en Lima Metropolitana durante los meses de verano la inversión térmica presenta menor altitud (base de 255 y tope de 596 m.s.n.m.), mientras que en invierno presenta lo opuesto (base de 675 m.s.n.m. y tope de 1490 m.s.n.m.).

Siendo en los meses de invierno muy intensa la inversión térmica ocasionando persistentes e intensas garúas, disminuyendo el proceso de suspensión y resuspensión de PAS (SENAMHI, 2008b).

Además, cuando la inversión térmica se encuentra cercana al suelo, esta evita que los contaminantes se dispersen (Vizcarra, 2006).

#### ***b. VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO***

Es una variable que influye significativamente en la concentración y acumulación de contaminantes en el aire, así se puede conocer la dirección de desplazamiento del contaminante, rapidez de dispersión y turbulencia (García, Ramírez, Fuentes, Arias & Espinosa, 2014).

Es decir, interviene de modo directo en las etapas de transporte y difusión de contaminantes, evitando la acumulación de estos (Vizcarra, 2006).

Además, el efecto de la brisa marina influye en la dispersión del PAS hacia el este de Lima Metropolitana (Silva & Montoya, 2004).

### ***c. PRECIPITACIÓN***

La precipitación es considerada como los mejores limpiadores del aire, debido que permiten la remoción de los contaminantes (Vizcarra, 2006). Es decir, disminuye la concentración del PAS en el aire.

### ***d. PRESIÓN ATMOSFÉRICA***

Existen regiones de alta y baja presión debido a la no uniformidad de calentamiento en el planeta (Brenes & Saborío, 1995).

La presión atmosférica es responsable del movimiento de las masas del aire en la atmósfera (Guevara, 2008), en otras palabras, los vientos se dirigen desde zonas de altas presiones hacia bajas presiones (Dirección perpendicular u horizontal) (Quereda, 2005).

Los vientos especiales o conocidas como las brisas que se presentan en Lima Metropolitana son las siguientes:

- Brisa de mar: Es la brisa que se origina en el mar y sopla hacia la tierra, y puede llegar a ser consistente en algunos lugares penetrando hacia el interior en muchos kilómetros (Padovano, 2018).
- Brisa de tierra: Ocurre durante la noche, debido al rápido enfriamiento del aire sobre la tierra en comparación al aire sobre el mar; circulando desde la tierra hacia el mar (Padovano, 2018).

### 2.3.2. TOPOGRAFÍA

El distrito de Miraflores pertenece a la cuenca del río Rímac, la cual se encuentra limitada por el oeste y este por el mar y la cordillera de los Andes; por el sur y norte por la cuenca del río Lurín y Chillón (Vizcarra, 2006).

Los vientos, provenientes del mar o brisa marina hacia la cuenca del río Rímac, permiten que esta tenga una buena capacidad de dispersión horizontal (Vizcarra, 2013).

La inversión térmica presente en Lima metropolitana durante los meses de invierno es muy intensa generando persistentes garúas en consecuencia disminuye la suspensión y resuspensión del PAS (SENAMHI, 2008b).

Es decir, los distritos costeros como Miraflores se encuentran beneficiados por la presencia de garúas, además de la brisa marina permitiendo la disminución del PAS (SENAMHI, 2008a).

#### 2.4. ESTACIÓN DE MONITOREO

Según la Swisscontact, establece lo siguiente:

Las estaciones de monitoreo para PAS deben estar ubicadas a una altura de 1.5 hasta 3 metros tomando como referencia el nivel del suelo; además deben estar colocados a una distancia del edificio o árbol que supere mínimo diez veces la diferencia de altura entre el método y el obstáculo (Swisscontact, 2001, pp. 18-19).

#### 2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Es la recolección de un conjunto de datos, la cual nos permite obtener conclusiones válidas del comportamiento de estos (Estuardo, 2012).

##### 2.5.1. NIVEL DE CONFIANZA

Es la proporción de veces que el intervalo de confianza contiene el parámetro de población. También llamado coeficiente de confianza (Triola, 2009).

##### 2.5.2. HIPÓTESIS

Es aquella cuya veracidad o falsedad aún no ha sido demostrada y su probabilidad debe estar argumentada por conocimientos anteriores ya demostrados (Pájaro, 2002).

###### **a. HIPÓTESIS NULA ( $H_0$ )**

Aquella que rechazamos si el valor calculado del estadístico excede el valor crítico del mismo (Arriaza, n.f).

###### **b. HIPÓTESIS ALTERNA ( $H_a$ )**

Aquella que aceptamos cuando rechazamos la hipótesis nula (Arriaza, n.f).

### 2.5.3. MUESTREO PROBABILÍSTICO

En este tipo de muestreo, los resultados pueden ser utilizados para realizar inferencias sobre los parámetros poblacionales y es posible medir el error de muestreo (Moscote & Quintana, 2008).

#### ***α. TÉCNICA DE MUESTREO ALEATORIO***

Abarca todos los elementos de una población que tienen igualdad de posibilidad de ser seleccionados como parte de la muestra (Lagares & Puerto, 2001).

#### ***- MUESTREO SISTEMÁTICO***

Este muestreo es adecuado para escenarios en donde la población es grande y presentan alto nivel de varianza (Guillen, Badii, Prado, Abreu & Valenzuela, 2011).

### 2.5.4. PRUEBA DE NORMALIDAD

La prueba de normalidad permite examinar si las observaciones siguen o no una distribución normal (Toledo, 2011).

#### ***α. TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV***

Mide el grado de concordancia entre la distribución de un grupo de datos y la distribución teórica específica (García, González & Jornet, 2010).

#### *2.5.5. PRUEBA NO PARAMÉTRICA*

Es un modelo que no especifica las condiciones de los parámetros de la población donde se extrajo la muestra, asociadas a observaciones independientes y variable de continuidad básica (Juez & Díez, 1997).

#### *2.5.6. PRUEBA DE MANN-WHITNEY*

Permite comparar si dos grupos independientes de datos proceden de poblaciones donde una variable aleatoria cuantitativa se distribuye idénticamente (Salafranca, Solanas, Núñez, Jiménez, Miralles & Serra, 2000). Es decir, permite diferenciar dos medias cuando las muestras son independientes, pero no puede suponerse la normalidad de las poblaciones de origen (Alea, Guillén, Muñoz, Torrelles & Viladomiu, 2000).

#### *2.5.7. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA*

Desarrolla un conjunto de técnicas con el fin de presentar medidas estadísticas a través de tablas y gráficos (Fernández, Cordero & Córdoba, 2002).

##### ***a. MEDIA***

Promedio de los valores de la distribución de datos y es el estadístico más usado para medir la tendencia central dada su simplicidad. Sin embargo, está afectada por valores extremos, lo cual puede determinar resultados erróneos (Guerrero, Victoria & Curiese, 2007).

##### ***b. DESVIACIÓN ESTÁNDAR***

Es el porcentaje de variación de la distribución estándar. Se puede definir en forma empírica, o sea pueden existir valores extremos que deben ser analizados (Guerrero, Victoria & Curiese, 2007).

#### **c. VARIANZA**

Cuando todos los datos son iguales la varianza es cero, y conforme la dispersión de los datos aumenta el valor de la varianza también se incrementa (Quevedo & Pérez, 2014).

#### **d. ASIMETRÍA**

Puede haber asimetría positiva o negativa, dependiendo de la cola que muestra el histograma; ya sea para medidas hacia valores altos o bajos de la variable respectivamente (Gorgas, Cardiel & Zamorano, 2011).

$$CA = \frac{\bar{\alpha} - M_o}{s} \quad \text{Ec. 1}$$

FUENTE: Gorgas, Cardiel & Zamorano. (2011). Estadística básica para estudiantes de ciencias. Universidad Complutense de Madrid.

#### **2.5.8. COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)**

El coeficiente de variación (CV) es el porcentaje entre la desviación estándar y la media, esto nos permite calcular la medida de homogeneidad de los datos (Facultad de Ciencias Agropecuarias – Universidad Nacional de Córdoba, 2017).

$$CV = \left( \frac{\sigma}{\mu} * 100 \right) \% \quad \text{Ec. 2}$$

FUENTE: Rustom, A. (2012). Estadística descriptiva, probabilidad e inferencia. Universidad de Chile.



### III. HIPÓTESIS/OBJETIVOS

En el presente capítulo se presentan la hipótesis de investigación; así como el objetivo general y los objetivos específicos.

#### 3.1. HIPÓTESIS

##### 3.1.1. *Ho:*

El método de Placas Receptoras y Bergerhoff no son diferentes significativamente en la determinación de PAS en el distrito de Miraflores.

##### 3.1.2. *Ha:*

El método de Placas Receptoras y Bergerhoff son diferentes significativamente en la determinación de PAS en el distrito de Miraflores.

#### 3.2. OBJETIVO GENERAL

Determinar si el MPR presenta diferencia significativa con el MB, a través de las concentraciones de PAS, diferencia de medias y análisis de varianza, de manera que los resultados de ambos métodos puedan ser comparables para el análisis de la calidad del aire.

#### 3.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las concentraciones de PAS en cinco puntos críticos en el distrito de Miraflores para el MPR y MB.
- Comprobar si el MPR y MB son diferentes, mediante la diferencia de medias.
- Comprobar si el MPR y MB son diferentes, mediante el análisis de varianzas.

#### IV. METODOLOGÍA

##### 4.1. MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS

###### **MATERIALES**

- Alcohol.
- Agua destilada.
- Alambre de púas.
- Alguicida Algen stop.
- Base con corte cuadrado interior.
- Base.
- Bastones de madera.
- Bloc de notas.
- Cilindro graduado
- Clavos.
- Colador de Malla inoxidable.
- Contenedor de plástico CEL.
- Contenedor de plástico Lock & Lock.
- Espátula.
- Galonera midwest.
- Guantes.
- Jaula de metal de protección.
- Lapicero.
- Papel toalla.
- Pinza.
- Pizeta para agua destilada.

- Placas de vidrios.
- Plumón indeleble.
- Precintos de seguridad.
- Recipiente plano de vidrio.
- Silicona.
- Vaselina Reuter.

## **EQUIPOS**

- Balanza analítica SARTORIUS ED224S, de 4 decimales de gramo.
- Cámara fotográfica.
- Computadora portátil.
- Estufa BINDER APT.line KB (E3.1).
- USB.

## **4.2. MÉTODOS**

### **4.2.1. *ÁREA DE ESTUDIO***

Se desarrolló en el distrito de Miraflores, con una extensión de 9,62 km<sup>2</sup>. La temperatura media anual es de 18°C; la máxima puede alcanzar los 30°C y la mínima puede llegar hasta los 12°C en invierno (Municipalidad de Miraflores, n.f.).

### **4.2.2. *PUNTOS DE MONITOREO***

La selección de puntos de monitoreo constó en cinco locales municipales (para evitar pérdidas de monitoreo por acciones de vandalismo) en el que se instalaron los métodos Bergerhoff y Placas Receptoras para analizar PAS (el plano se encuentra en el anexo 16), los cuales contaron con tres repeticiones por método (ver tabla 2) (Electronic Code of Federal Regulations, 2015).

*Tabla 2. Puntos de monitoreo.*

Aurora	UTM 18L: 280999 8659126
	
Centro de Idiomas	UTM 18L: 279116 8660001
	
Parque Reducto	UTM 18L: 279832 8658563
	
Manuel Bonilla	UTM 18L: 276595 8660426
	
Centro Promotor	UTM 18L: 277918 8659087

	
Huaca Pucllana	UTM 18L: 278695 8660305
	

Ambos métodos se ubicaron a una altura de 1.5 – 3 m respecto del suelo (Marcos & Valderrama, 2012) (Swisscontact, 2001).

A mediados de octubre, se tuvo que cambiar la locación de los muestreadores desde Manuel Bonilla hacia Centro Promotor debido a la alta tasa de presencia de óxidos de la reja en el MB. Cabe resaltar, que se eligió el local municipal Centro Promotor por presentar la característica de punto de monitoreo costero. En el anexo 16 se muestra la ubicación espacial de los lugares de monitoreo y las coordenadas (Tabla 3).

Tabla 3. Ubicación de los puntos de monitoreo (WGS-84 18S UTM).

Punto de monitoreo	Este (m)	Norte (m)
Aurora	280999	8659126
Centro de Idiomas	279116	8660001
Parque Reducto	279832	8658563
Manuel Bonilla	276595	8660426
Centro Promotor	277918	8659087
Huaca Pucllana	278695	8660305

#### 4.2.3. FUNDAMENTO DEL MÉTODO BERGERHOFF

Según el manual de la Swisscontact (2001):

##### ***a. RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA***

- Se limpió bien el colector plástico de 1.8 litros, antes de exponerlos, con detergente líquido.
- Se adicionó al colector 200 ml de agua destilada. Este volumen puede variar según la zona de estudio.
- Después del periodo de muestreo (30 +/- 2 días), se cambiaron los recipientes, fueron tapados y llevados al laboratorio.
- Los recipientes con muestras de PAS no se almacenaron por más de catorce días en el laboratorio en la refrigeradora y protegidos contra la luz, para evitar el crecimiento de microorganismos.

**b. ANÁLISIS**

Tabla 4. Procedimiento del método Bergerhoff en laboratorio.

<p>1. Se rotularon los beakers</p>	<p>2. Se pesaron los beakers, en la balanza analítica nivelada (Anexo 1) sin muestra tres veces y se hace un promedio.</p>
	
<p>3. Se traspasaron las muestras al beaker, mediante el colador, espátula y agua destilada.</p>	<p>4. Se lavó la espátula y colador con agua de la grifería y destilada.</p>
	
<p>5. Se programó la estufa (Anexo 2) para 16 hr. a 105 °C.</p>	<p>6. Se pesaron los beakers con muestra tres veces y se hizo un promedio aritmético.</p>
	

### **c. CÁLCULO**

$$\text{Polvo} \left[ \frac{t}{\text{km}^2 \cdot \text{mes}} \right] = \frac{(P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}})}{A \cdot T} \quad \text{Ec. 3}$$

Los parámetros requeridos fueron el peso del recipiente de vidrio vacío (P inicio) y con muestra (P final) expresados en toneladas (t), el área (A) del recipiente de plástico en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) y tiempo de monitoreo (T) en un mes.

### **d. MEDIDAS DE MANTENIMIENTO**

- Se limpiaron los recipientes de plástico y los recipientes de vidrio (beaker) del laboratorio con detergente suave (detergente líquido), en un lugar libre de polvo.
- Se enjuagaron los recipientes con agua destilada después del pre-enjuague.

#### **4.2.4. FUNDAMENTO DE PLACAS RECEPTORAS**

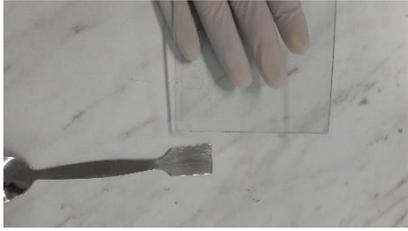
##### **a. RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA**

- La placa receptora fue de vidrio con un área de 10x10 cm con vaselina como adherente, atrapando al PAS quedó (Corleto & Cortez, 2012). Luego se pesaron en una balanza analítica, siendo el Pinicial = Pplaca + Pvaselina.
- Se construyeron pequeñas casetas con material reciclado en donde se colocaron las placas para protegerla del sol, hojas, aves, etc.; considerando ubicaciones que no presenten restricciones del libre flujo de aire (Swisscontact, 2001).
- El cambio de placas se dió cada 30 +/- 2 días y con guantes.

- Las placas fueron llevadas a laboratorio en un contenedor de plástico para evitar contaminar la muestra.

**b. ANÁLISIS**

Tabla 5. Procedimiento del método de Placas Receptoras en laboratorio.

<p>1. Se verificó que la balanza analítica (Anexo 1) esté bien nivelada.</p>	<p>2. Se aplicó vaselina en la placa.</p>
	
<p>3. Prender la balanza analítica.</p>	<p>4. Se pesó la placa sin y con muestra tres veces.</p>
	
<p>5. Se apuntaron los tres pesos y sacaron promedios aritméticos.</p>	<p>6. Se limpió la placa con alcohol y papel toalla.</p>



### c. CÁLCULO

- Se determinó el peso del PAS obtenido, se hizo la siguiente resta:

$$P(\text{PAS}) = P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}; \text{ expresados en toneladas. Ec. 4}$$

- La concentración del PAS se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{(P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}})}{(A_{\text{colección}} * T_{\text{colección}})} \quad \text{Ec. 5}$$

- El período de colección se indicó en mes. Las precipitaciones de polvo como peso (tonelada – t) y el área de la placa de vidrio en kilómetro cuadrado (km<sup>2</sup>).

#### 4.2.5. ARMADO DE CASSETAS

Constó en pegar una base de 26x20 cm con otra base de 26x20 cm. Esta última base tuvo un corte cuadrado interior de 10x10 cm.

Luego se procedió al armado del techo a dos aguas, el material seleccionado fue una placa de material impermeable de 34x20 cm, el cual se pegó con silicona.

Finalmente, se realizó la unión del techo a dos aguas con la base a través de 4 bastones de 15 cm de largo, y pegados con silicona.

Estas casetas de monitoreo de haber sido necesario fueron sujetadas a rejas mediante precintos de seguridad o bases de vidrio de 1.5 m con silicona.



Figura 1. Caseta de monitoreo

**4.2.6. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se empleó el Diseño Aleatorizado de tipo Sistemático, con tres repeticiones por método en cinco puntos de monitoreo (Tabla 6).

Tabla 6. Tratamientos por punto de monitoreo.

TRATAMIENTOS		
Bergerhoff	Placas Receptoras	
R1	R1	x 5
R2	R2	
R3	R3	

### ***a. CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS***

- Para ambos métodos: se eligieron locales municipales con el fin de evitar actos de vandalismo contra los equipos de monitoreo y se usaron precintos de seguridad para que estos se encuentren bien sujetos durante el monitoreo.
- Para el MB se utilizó el alguicida Algen Stop diluido en el agua destilada, aplicando regla de tres simple, para evitar la proliferación de algas en las muestras. También se usó alambre de púas para evitar que las aves alteraran las muestras y se evitó, en lo posible, ubicar los equipos cerca de edificios o árboles.
- Para que el nivel del agua destilada se mantenga (200 ml), durante los meses fríos se llenó cada siete días mientras que durante los meses calientes se llenó cada cinco días.
- Para la depuración de concentraciones no controladas, se tuvo en consideración que si una concentración del MB estaba fuera de control inmediatamente anulaba la concentración del MPR y viceversa; este procedimiento se realizó a través del Coeficiente de Variación. Ya que este análisis nos permite medir el error muestral (DANE, 2008).

Además, se hizo el análisis estadístico a través de la prueba de normalidad y Mann-Whitney, con una significancia del 95% ( $P < 0.05$ ), usando el programa SPSS última versión disponible en los laboratorios de computación ubicados en el campus de la Universidad Científica del Sur y Excel 2013.

## V. RESULTADOS

El análisis de los datos originales (390 concentraciones) se realizó a través del coeficiente de variación, para determinar si estos se encontraban controlados estadísticamente y observar la homogeneidad de estos. Luego, se procedió a la eliminación de los datos atípicos (286 concentraciones) que presentaban observaciones.

Los datos validados fueron analizados a través de pruebas de normalidad y Mann Whitney. Siendo en la primera prueba de normalidad en la que se volvieron a encontrar cuatro concentraciones atípicas (ver sección 5.1.1.), estas no tenían registrada alguna observación, pero pueden haber sido alteradas por algún caso en particular que no se pudo advertir durante su análisis en el laboratorio; por ende fueron descartadas.

Además, en el Anexo 4 se encuentra la tabla con los resultados de los datos originales de la presenta tesis, desde el Anexo 5 al 9 se encuentran los resultados mensuales de cada estación de monitoreo con sus respectivas observaciones a detalle y del Anexo 10 al 15 se encuentran los análisis de coeficiente de variación para cada estación de monitoreo donde se puede observar la heterogeneidad que presentan las concentraciones.

Finalmente, durante los meses noviembre, diciembre y enero 2017 las concentraciones de PAS del MB fueron muy altas debido al exceso de sales que tenía el agua destilada (agua dura). El primer indicio fue la presencia de un precipitado cristalino, blanco y áspero en la base de los recipientes de plástico y en los beakers del laboratorio (ver imagen 3); lo cual seguido de un análisis de dureza en el

laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur se confirmó lo mencionado líneas arriba.



Figura 2. Precipitado blanco en la muestra Centro Promotor 1.

### 5.1. RESULTADOS DE DATOS VALIDADOS

La Tabla 7 o Anexo 17 donde se encuentra el gráfico, se presentan las concentraciones que han sido validadas para la presente investigación. Además, en la sección 5.1.1. se explica cómo se obtuvieron cien datos validados.

Tabla 7. Concentraciones de PAS validados.

Zona	Repetición	Mes	Placas Receptoras (t/km <sup>2</sup> /mes)	Bergerhoff (t/km <sup>2</sup> /mes)
Aurora	A2	Febrero	3.2786	10.2314
Centro de Idiomas	CI1		3.9857	11.9650
	CI2		4.8857	10.6672
	CI3		3.7607	11.2451
Huaca Pucllana	HP3		8.3323	11.8254
Centro de Idiomas	CI1	Marzo	3.5793	7.5299
	CI2		3.7552	7.3930
	CI3		2.7414	9.4723
	HP1		9.1607	6.4302

Huaca Pucllana	HP2	Abril	7.7357	7.6376	
	HP3		7.9179	8.0126	
Aurora	A1		0.4875	5.2720	
	A2		1.9781	4.5757	
	A3		2.8125	3.9043	
Centro de Idiomas	CI1		4.0687	5.8186	
	CI2		3.9656	5.4849	
	CI3		3.5438	6.1951	
Parque Reducto	PR1		7.0969	9.5907	
	PR2		8.5969	9.5078	
Huaca Pucllana	HP1		6.5710	5.6389	
	HP2		5.6806	6.0325	
	HP3		5.9613	5.8785	
Aurora	A1		Mayo	6.6900	2.5389
	A2			2.0400	3.7894
Centro de Idiomas	CI1			3.1200	5.5041
	CI2			3.3100	5.6557
	CI3			2.8600	5.7220
Parque Reducto	PR1	7.8600		5.2104	
	PR2	9.2700		6.2999	
	PR3	6.9700		5.7220	
Huaca Pucllana	HP1	5.8700		7.8630	
	HP2	5.8400		8.0335	
	HP3	5.5100		7.8062	
Aurora	A1	Junio		3.2793	5.3223
	A2			2.6690	5.5961
	A3			3.3621	5.6389
Centro de Idiomas	CI1			3.4966	5.8858
	CI2			2.7310	5.0930
	CI3			2.9793	5.1637
Parque Reducto	PR2			11.3172	10.0456
Huaca Pucllana	HP1		4.5000	4.5683	
	HP2		3.9207	4.6656	
	HP3		3.9517	6.6256	
Aurora	A1		Julio	1.3688	5.5787
	A2			0.4031	4.6752
Centro de Idiomas	CI1			2.5031	5.0731
	CI2			2.9625	4.9653
	CI3			2.6625	4.6172
Parque Reducto	PR1			6.7406	6.2501
	PR2			6.7312	6.3082
	PR3			6.3469	8.0241
	HP2	3.8344		4.8658	

Huaca Pucllana	HP3		3.8625	4.8907	
Aurora	A1	Agosto	2.1300	3.6039	
Centro de Idiomas	CI1		4.0258	3.8551	
	CI2		4.1710	6.7376	
	CI3		4.0452	4.0142	
Parque Reducto	PR3		8.6000	8.1407	
Huaca Pucllana	HP1		4.4710	3.9275	
	HP2		4.4613	4.1329	
	HP3	4.1710	4.8003		
Aurora	A1	Setiembre	4.0355	4.7918	
	A2		3.4548	4.8517	
Centro de Idiomas	CI1		3.2100	2.7553	
	CI2		3.2300	3.0120	
	CI3		2.8000	3.8420	
Parque Reducto	PR1		10.3161	10.1911	
Bonilla	B1		6.5900	5.8445	
	B2		7.1000	5.2610	
	B3		8.0100	4.9338	
Huaca Pucllana	HP1		3.8300	3.6164	
	HP2		3.7000	3.5721	
	HP3		3.5900	4.3768	
Aurora	A1		Octubre	3.3548	4.6918
	A2			3.5290	4.5177
	A3			3.3516	4.5260
Centro de Idiomas	CI1	3.8645		4.3574	
	CI2	4.0935		5.9241	
	CI3	3.6484		4.8161	
Parque Reducto	PR1	10.3097		7.3996	
	PR3	9.2484		9.5521	
Centro Promotor	CP1	6.5774		4.7636	
	CP2	7.3419		4.9681	
	CP3	6.6065		4.8796	
Huaca Pucllana	HP1	5.9677		5.0924	
	HP2	6.2581		4.8796	
	HP3	5.8645		6.6950	
Aurora	A1	Febrero 17		1.2214	9.2612
	A2			0.5321	6.1837
	A3			2.2143	7.7467
Centro de Idiomas	CI1			2.4429	6.3397
	CI3		2.8714	6.4929	
Parque Reducto	PR1		7.6250	9.1158	
	PR2		8.3179	8.1802	

	PR3		7.5393	9.5807
Centro Promotor	CP1		5.2179	5.1195
	CP2		5.2929	5.6205
	CP3		4.0929	4.8218
Huaca Pucllana	HP1		3.9500	8.9274
	HP2		5.5786	7.3830

**5.1.1. PRIMERA PRUEBA DE NORMALIDAD**

Esta primera prueba tuvo como finalidad determinar si aún existían concentraciones atípicas de PAS en ambos métodos.

En la figura 3 se observa que las posiciones 40 (Parque Reducto – junio), 70 (Parque Reducto – setiembre) y 95 (Centro de Idiomas – febrero 2017) de las concentraciones para el MPR son atípicas.

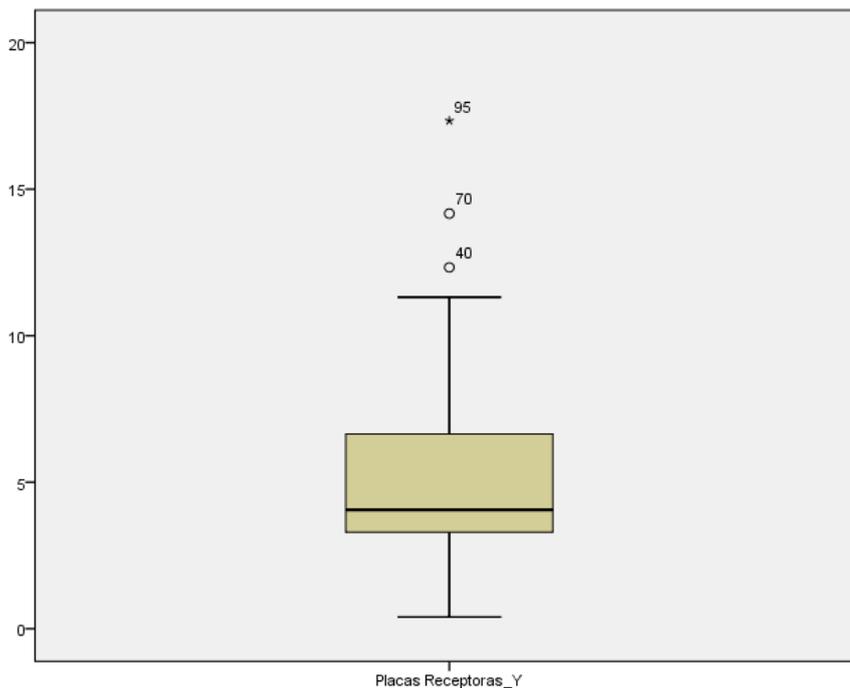


Figura 3. Valores atípicos para MPR.

Mientras que para el MB en la figura 4 se observa las posiciones 42 (Parque Reducto – junio), 70 (Parque Reducto – setiembre) y 95 (Centro de Idiomas – febrero 2017) de las concentraciones como atípicas.

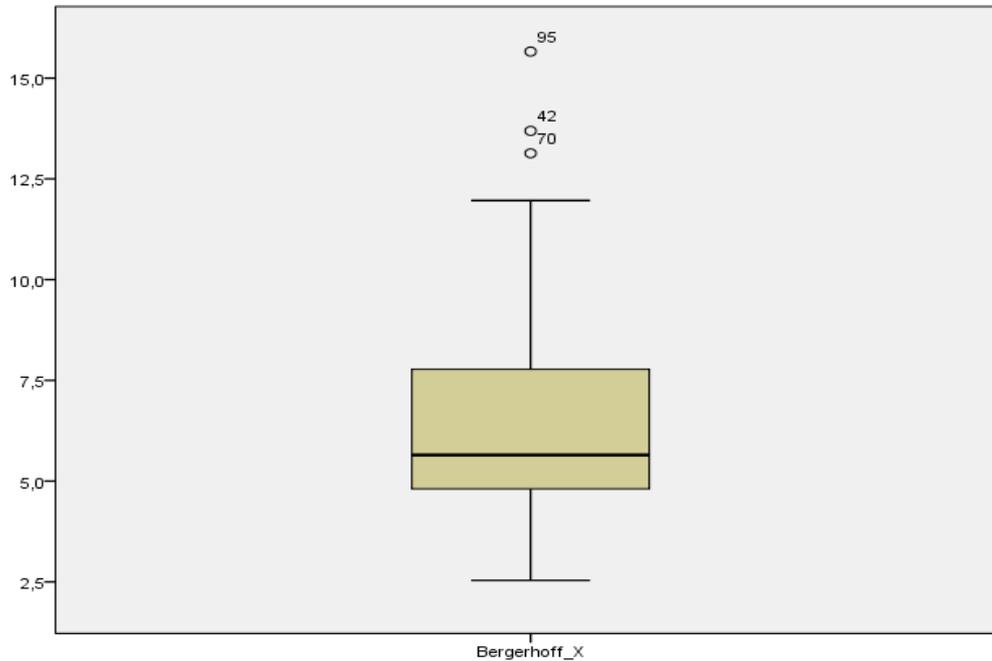


Figura 4. Valores atípicos para MB.

Además, en la primera prueba de normalidad (tabla 8) se observa la significancia de ambos métodos, siendo estos menor a 0.05, lo cual indica que son concentraciones no normales.

Tabla 8. Primera prueba de normalidad.

Pruebas de normalidad			
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		
	Estadístico	gl	Sig.
Placas Receptoras	,177	104	,000

Bergerhoff	,159	104	,000
a. Corrección de significación de Lilliefors			

Por lo tanto, se procede a la eliminación de las cuatro concentraciones atípicas quedando con un total de cien concentraciones para poder realizar las pruebas estadísticas correspondientes.

### 5.1.2. SEGUNDA PRUEBA DE NORMALIDAD

En la tabla 9 se observa que las significancias de ambos métodos siguen siendo menor a 0.05, por lo tanto, se requiere realizar la prueba de Mann-Whitney.

Tabla 9. Segunda prueba de normalidad.

Prueba de normalidad			
	Kolmogorov-Smirnova		
	Estadístico	gl	Sig.
Placas Receptoras	,179	100	,000
Bergerhoff	,146	100	,000
a. Corrección de significación de Lilliefors			

### 5.1.3. PRUEBA DE MANN WHITNEY

#### ***α. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN***

-  $H_0: \tau_1 = \tau_2$

El método de Placas Receptoras y Bergerhoff no son diferentes significativamente.

- $H_1: \tau_1 \neq \tau_2$

El método de Placas Receptoras y Bergerhoff son diferentes significativamente.

### **b. PRUEBA DE MANN-WHITNEY**

Al realizar la prueba (tabla 10), la significancia obtenida es menor a 0.001.

Tabla 10. Prueba de Mann Whitney.

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	Cocentraciones de PAS
U de Mann-Whitney	3139,000
W de Wilcoxon	8189,000
Z	-4,547
Sig. asintótica (bilateral)	,000
a. Variable de agrupación: Muestreadores_Pasivos	

### **c. VALOR CRÍTICO**

$\alpha = 0.05$ .

### **d. DECISIONES**

$\alpha = 0.05 > \alpha_{calculada} = 0.000$

Esto significa, que el MB es diferente al MPR para el monitoreo de PAS.

Además, a través de la prueba Mann-Whitney, con una significancia de 0.05 y con el nivel de significancia  $\alpha_{calculada}$  menor a 0.001, se logra afirmar que el

método de Placas Receptoras presenta diferencia significativa en comparación al método Bergerhoff para medir PAS.

#### 5.1.4. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Tabla 11. Estadísticos descriptivos.

		Placas Receptoras	Bergerhoff
N	Válido	100	100
Media		4.8171	6.1640
Desviación estándar		2.3252	2.0807
Varianza		5.407	4.330
Asimetría		0.607	0.903

En la tabla 11 se observa que la media del MPR (4.8171) es menor a la del MB (6.1640) este resultado se ve reflejado en el tipo de material sensible que se usa para capturar al PAS. Además, la desviación estándar, indica que el MPR presenta mayor variabilidad entre sus datos es decir sus datos no presentan uniformidad en comparación al MB.

Así mismo, ambos métodos presentan asimetría positiva hacia la derecha.

En resumen, el método Bergerhoff es diferente significativamente al método de Placas Receptoras para monitorear PAS en base a los resultados del análisis estadístico con un nivel de confianza de 0.05.

Así mismo, el método Bergerhoff presenta menor variación en sus datos en comparación al método de Placas Receptoras (ver tabla 11).

### 5.1.5. ESTACIONALIDAD DE LAS CONCENTRACIONES DEL PAS

En este análisis se tomaron en cuenta como meses calientes a febrero, marzo y abril (El Comercio, 2018b) y como meses fríos a junio, julio y agosto (El Comercio, 2018a).

#### a. HIPÓTESIS

-  $H_0: \tau_1 = \tau_2$

Las concentraciones de PAS en los meses calientes y fríos son iguales.

-  $H_1: \tau_1 \neq \tau_2$

Las concentraciones de PAS en los meses calientes y fríos son diferentes.

#### b. PRUEBA DE MANN-WHITNEY

Al realizar la prueba Mann-Whitney (tabla 12), la significancia obtenida es igual a 0.001.

Tabla 12. Prueba de Mann Whitney.

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
	CONCENTRACION DE PAS
U de Mann-Whitney	841,000
W de Wilcoxon	2437,000
Z	-3,280
Sig. asintótica (bilateral)	,001
a. Variable de agrupación: ESTACIONALIDAD	

Además, en la tabla 13 se observa que, las concentraciones de PAS en los meses calientes presentan un mayor rango promedio en comparación a los meses fríos.

Tabla 13. Rangos de las concentraciones de PAS según la estacionalidad.

	ESTACIONALIDAD	Rango promedio	Suma de rangos
CONCENTRACION DE PAS	VERANO	62,98	3023,00
	INVIERNO	43,52	2437,00

**c. VALOR CRÍTICO**

$\alpha = 0.05$ .

**d. DECISIONES**

$\alpha = 0.05 > \alpha_{calculada} = 0.001$

Esto significa, que las concentraciones de PAS son diferentes en los meses calientes y fríos.

**5.1.6. CONCENTRACIONES DE PAS RESPECTO AL VALOR REFERENCIAL DE LA OMS**

De las concentraciones de PAS que fueron mayores al permitido por la OMS (5 t/km<sup>2</sup>/mes) (tabla 14), el MB presentó mayor cantidad de valores (64%) que excedían el límite permitido en comparación al MPR (39%), además en el anexo 18 se encuentra el gráfico de las concentraciones de PAS respecto al límite establecido por la OMS.

Tabla 14. Cantidad de concentraciones superiores al límite permitido por la OMS.

<b>Lugar de monitoreo</b>	<b>Placas Receptoras</b>	<b>Bergerhoff</b>
Aurora	1	9
Centro de idiomas	0	20
Parque Reducto	16	16
Bonilla/Promotor	8	4
Huaca Pucllana	14	15
<b>Total</b>	<b>39</b>	<b>64</b>
<b>Total %</b>	<b>39%</b>	<b>64%</b>

## VI. DISCUSIÓN

El método de Placas Receptoras al usar vaselina presenta un punto de saturación limitando el monitoreo de PAS, en comparación al método de Bergerhoff que se encuentra expuesto al aire libre y al usar agua destilada no presenta limitante (Corleto & Cortez, 2012) debido al constante mantenimiento del nivel de agua dentro de los contenedores de plástico. Además, el MB es un método normalizado (VDI 2119), esto implica que la metodología ya ha sido demostrada a nivel internacional mientras que el MPR no presenta metodología estandarizada.

Es así como este fenómeno se vio reflejado en la presente investigación a través de la media de las concentraciones de PAS (ver tabla 11) entre el método de Placas Receptoras (4.8171 t/km<sup>2</sup>/mes) y el método Bergerhoff (6.1640 t/km<sup>2</sup>/mes).

Según Corleto y Cortez (2012) el MPR depende de la corriente del aire por la presencia del techo de la caseta para la captura del PAS, mientras que el MB no depende de esta. Es decir, el MB solo capta el contaminante de manera vertical mientras que el MPR capta de manera horizontal al contaminante (Jereb, Marzi, Cepak, Katz & Poljšak, 2009).

En adición, en la presente investigación el MPR durante los meses de verano presentó problemas de derretimiento de vaselina generando pérdida de muestra y en invierno el agua de las lloviznas se filtró a través del techo de las casetas lavando las placas y dejándolas sin PAS, y durante todo el año de monitoreo se presentaron huellas de patas de ave y presencia de insectos por lo tanto la pérdida de data estuvo relacionada a la parte operacional, mas no a la metodológica.

A pesar de contar con la malla metálica para evitar el traspaso de insectos, hojas, semillas, etc., Bergerhoff es un método que no puede estar ubicado cerca de árboles ya que la muestra puede verse afectada por las mismas aves (heces) o presencia de semillas, hojas y ramas, que generan precipitados en el contenedor plástico. Así como pasó en el reporte de Independent Testing Services Limited (2016) en el cual encontraron materia orgánica descompuesta dentro del muestreador Bergerhoff.

Es por esto que, para minimizar los efectos de obstáculo como edificios o árboles, Bergerhoff debe estar ubicado a una distancia de diez o más veces la diferencia de altura entre el colector y el obstáculo (Swisscontact, 2001). Pero por temas de seguridad de los equipos de monitoreo y espacio dentro de los locales municipales no se pudo aplicar este aspecto para las muestras.

En consecuencia, el uso de tres repeticiones por método ha sido esencial para la presente investigación debido a las distintas condiciones que se presentaron en los lugares de monitoreo y que afectaron las concentraciones de PAS en ambos métodos. Ya que al presentar una alta data (390 concentraciones), al momento de realizar la depuración de concentraciones (290 concentraciones) permitió la viabilidad de la investigación.

Otro punto importante es el tiempo de monitoreo, siendo durante la investigación de Corleto y Cortez (2012) que solo se monitoreó durante 4 meses, concluyendo que el MB es el más confiable para monitorear PAS. Así mismo en la presente investigación se llegó a la misma conclusión sobre el MB en comparación al MPR para el monitoreo de PAS, habiéndose monitoreado durante un año (febrero 2016 – febrero 2017).

En el aspecto meteorológico, el comportamiento que se produjo durante los meses fríos de las concentraciones de PAS fueron diferentes en comparación a las obtenidas en los meses calientes (tabla 12) (tabla 13), esto puede relacionarse a la humedad relativa, que llega a sus máximos dentro del ciclo anual (SENAMHI, 2013b), y al mismo tiempo las lluvias permiten que disminuya los niveles de polvo sedimentable (Centro Nacional del Medio Ambiente, 2013). En el MB se presentó la misma tendencia, ya que la diferencia con el MPR es que durante los meses fríos el MB sigue capturando PAS que proviene de las lloviznas que se dan en Lima Metropolitana.

Este efecto se vió reflejado en la investigación de Ramos (2017) en donde los meses de mayor precipitación se registró menor cantidad de partículas sedimentables a diferencia de los meses de menor precipitación y en el estudio de Jereb, Marzi, Cepak, Katz y Poljšak (2009) determinaron valores altos en la deposición de material particulado en los periodos calientes y secos en comparación al periodo frío y húmedo.

Otro fenómeno que debemos considerar es el de la Capa de Inversión Térmica por Subsistencia que ocurre en Lima Metropolitana, la cual durante los meses calientes, al disminuir permite que los procesos de turbulencia, suspensión y resuspensión aumenten los niveles de PAS por lo tanto durante los meses fríos hay una menor concentración del mismo (Silva & Montoya, 2004) (Silva, Aguirre & Arellano, 2009).

Durante el monitoreo, el techo a dos aguas se despegaba de los bastones por acción del viento y se filtraba el agua de las lloviznas por lo que se optó el uso de clavos de dos pulgadas y silicona para sellar las uniones, obteniendo un techo plano y no a dos

aguas (Figura 5). Sin embargo, en la estación de monitoreo Aurora continuaron las filtraciones.



Figura 5. Caseta con techo plano.

Los reportes mensuales disponibles del SENAMHI (2013b), (2013c), (2008a) y (2008b) (los cuales se realizaron a través del MPR) cuando describen a los distritos costeros de Lima Metropolitana, expresan que en estos distritos debido a la influencia de la brisa marina presentan mejores condiciones ambientales para la disminución del PAS, así mismo en los reportes del SENAMHI (2004a) y (2004b) detallan que estos distritos costeros, como lo es Miraflores, al presentar un alto índice de áreas verdes limitan la concentración del contaminante al reducir la velocidad del viento, favoreciendo la dispersión del mismo al evitar la resuspensión sin exceder el valor referencial de la OMS (Chipoco & Valencia, 2015).

Sin embargo, en el distrito de Miraflores se encontró (con datos validados) que a pesar de existir áreas verdes y la influencia de la brisa marina, 39 muestras correspondientes al MPR superaron el valor referencial de la OMS y el MB presentó 64 muestras que también superaron este valor. Es decir, el distrito de Miraflores a pesar de tener la ventaja de ser un distrito costero aún presentaría problemas de contaminación por PAS en su distrito.

Ramos (2017), concluye que a mayor tránsito vehicular, mayor es la resuspensión del PAS. Esta afirmación, puede guardar relación con los problemas de contaminación en el distrito de Miraflores, pero deberán llevarse a cabo más investigaciones para determinar esto.

En la presente tesis y la tesis elaborada por Corleto y Cortez (2012) al comparar el MB y el MPR, determinaron también, a través de análisis estadísticos, que el MB es significativamente diferente al MPR. Siendo más preciso el método de Bergerhoff para cuantificar PAS.

Estos resultados se ven reflejados en la conclusión de De la Paz (2007) en la cual señala que a pesar de haber sido útil las placas Petri para monitorear polvo sedimentable, esta técnica no es comparable respecto a las técnicas que se usan a nivel internacional.

Este es otro punto a favor del método Bergerhoff, el cual, además, es empleado en la REDEP (Red de depósito) que opera desde mayo de 2005 en Quito-Ecuador con 37 puntos de monitoreo para evaluar la calidad del aire (Secretaría de Ambiente, 2016). También, en la ciudad de Ambato-Ecuador, Villacrés (2015) evaluó las concentraciones de material particulado a través del método Bergerhoff con el fin de establecer lineamientos de acción para una mejor calidad del aire en los puntos críticos que presentaron concentraciones mayores al límite establecido.

Finalmente, cabe recalcar que el monitorear PAS no es un sustituto para el monitoreo del material particulado ni de las estaciones automáticas, pero mientras los niveles de PAS se encuentren bajo control se puede asociar a valores de material particulado controlados (Annegarn, 2015).

## VII. CONCLUSIONES

- El MPR no debe ser usado para monitorear PAS, ya que este método no se encuentra estandarizado. Además, en la presente investigación se determinó que es un método no comparable respecto a Bergerhoff, esto debe ser tomado muy en cuenta si se quiere realizar un estudio de la calidad del aire mediante muestreadores pasivos, ya que al usar el método de Placas Receptoras no se está tomando datos reales del PAS lo cual puede llevar a una mala toma de decisiones.
- El MB es un método muy útil para realizar monitoreos a largo plazo ya que puede captar contaminantes de la lluvia y por gravedad; mientras que el MPR solo depende de la velocidad del viento.
- Mediante el análisis estadístico descriptivo y Mann-Whitney se determinó diferencia significativa entre el MPR y MB para medir PAS en el aire, con un nivel de confianza de 95%. Además, el MPR presentó una media de 4.8171 t/km<sup>2</sup>/mes y MB 6.1640 t/km<sup>2</sup>/mes.
- El MB debe ser usado para realizar estudios de diagnóstico y como base para establecer sistemas de vigilancia de calidad de aire.
- El método que presentó mayor cantidad de valores que sobrepasaron el límite establecido por la OMS en los cinco puntos de monitoreo fue Bergerhoff con 64% a diferencia del MPR que presentó 39%.
- El MPR a pesar de ser un método de bajo costo y fácil manejo presenta limitante al momento de capturar PAS ya que la vaselina tiene punto de saturación, mientras que el material sensible del método Bergerhoff (agua destilada) no se satura ya que esta se mantiene constante.

- Si se considera reducir el tiempo de exposición de MPR para evitar que la placa se sature, va a depender de las fuentes emisoras y las condiciones del lugar. Pero, hay que considerar que es un método no estandarizado.
- El MB presentó en varias muestras de los distintos puntos de monitoreo, pero en especial las residenciales (Parque Reducto y Aurora), problemas con hojas, ramas, semillas y heces de aves que generaron coloración y/o precipitados en las muestras, y además problemas de contaminación por óxidos de la reja en Manuel Bonilla y Parque Reducto.
- El MPR en varias muestras presentó huellas de patas de ave, filtración de lloviznas, pérdida de muestra por calor, vandalismo y gotas de riego por aspersion (Estación Parque Reducto).
- Se pudo comprobar durante los meses fríos, que las concentraciones de PAS fueron menores en comparación a los meses calientes. Esto debido al proceso de lavado por las precipitaciones y la alta humedad relativa característica de la ciudad de Lima en los meses fríos.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Procurar utilizar estaciones meteorológicas en cada punto de monitoreo para poder comprender el comportamiento del PAS y como esto puede afectar su deposición en los métodos pasivos usados.
- Ubicar las muestras a una distancia de diez o más veces la diferencia de altura entre el colector y el obstáculo (árboles y/o edificios), así mismo de sujetarlas a rejas que no presenten óxidos para que no se vean alteradas las concentraciones.
- Asegurarse que los métodos estén aislados de personas ajenas al estudio para evitar que alteren las muestras o destruyan los equipos.
- En caso se aplique el MB en zonas donde la velocidad del viento es moderada o mayor, tener en cuenta lo siguiente: Es importante la constante adición de agua destilada en el MB para evitar la pérdida de muestra dentro del envase a causa de fuertes vientos (Jereb, Marzi, Cepak, Katz & Poljšak, 2009), esto se vió reflejado en el trabajo de Egami, Watson, Rogers, Rudy, Rood & Chow (1989) donde determinan que el MB presenta limitaciones al momento de captar partículas del orden de 100  $\mu\text{m}$  cuando la velocidad del viento supera los 7 m/s (25 km/hr).

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alea, V., Guillén, M., Muñóz, C., Torrelles, E. & Viladomiu, N. (2000). Estadística con SPSS v.10.0. 1a Edición. España. Recuperado de: [https://books.google.com.pe/books?id=f-foUYc\\_ZawC&pg=PA113&dq=prueba+menn+whitney&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiS58\\_AtziAhVvxFkKHYfdCewQ6AEINDAC#v=onepage&q=prueba%20mann%20whitney&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=f-foUYc_ZawC&pg=PA113&dq=prueba+menn+whitney&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiS58_AtziAhVvxFkKHYfdCewQ6AEINDAC#v=onepage&q=prueba%20mann%20whitney&f=false)
- Almanza, J. & Cerro, J. (2016). Estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos producidas por la construcción del Bloque H en la Universidad Popular del Cesar – Sede Sabanas. Ingenierías y Tecnologías, Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad Popular del Cesar. Recuperado de: <http://hemeroteca.unicesar.edu.co/IMG/pdf/t-628-ia-453-ano-2016.pdf>
- Annegarn, H. (2015). Challenges of Dust Fall Deposition Monitoring Under the 2013 National Dust Control Regulations. Energy Institute, Cape Peninsula University of Technology. Durbanville, Sudáfrica. Recuperado de: <http://www.naca.org.za/uploads/V04NACAWCAnnegarnCriticalanalysisofdustfallstandards.pdf>
- Arriaza, M. (n.f). Guía Práctica de Análisis de Datos. Junta de Andalucía. España. Recuperado de: [http://www.um.es/jmpaz/AGP1213/guia\\_practica\\_de\\_analisis\\_de\\_datos.pdf](http://www.um.es/jmpaz/AGP1213/guia_practica_de_analisis_de_datos.pdf)
- Bermeo, A. (2016). Análisis cuatitativo del material particulado sedimentable con variables meteorológicas en 13 estaciones de la ciudad de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato. Ambato,

Ecuador. Recuperado de:  
<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24079/1/BQ%20103.pdf>

Brenes, A. & Saborío, V. (1995). Elementos de Climatología su Aplicación Didáctica a Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia. Recuperado de:  
<https://books.google.com/books?id=G-Bb7ovml3AC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Byrne, I. (n.f.). Chapter 9 – Air Quality and Climate – Environmental Impact Assessment Report. Dublin, Irlanda. Recuperado de: <http://cfp2.ie/wp-content/uploads/2017/09/Chapter-09-Air-Quality-and-Climate.pdf>

Cappelletti, N., Tatone, L. & Astoviza, M. (2017). Riesgo para la Salud Asociado a las Partículas Atmosféricas en el Área Metropolitana de Buenos Aires. PROIMCA – PRODECA.

Caruajulca, A. (2016). El 71% de distritos no supervisa la contaminación del aire. Diario Correo. Recuperado de: <https://diariocorreo.pe/ciudad/el-71-de-distritos-no-supervisa-la-contaminacion-del-aire-681250/>

Casas, C. & Alarcón, M. (1999). Meteorología y Clima. Recuperado de:  
<https://books.google.com/books?id=YteA9mrl6skC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). (2013). Informe Final Evaluación de Exposición Ambiental a Sustancias Potencialmente Contaminantes Presentes en el Aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Santiago de Chile, Chile.

Recuperado de: [http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55902\\_InformeFinal\\_CENMA.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55902_InformeFinal_CENMA.pdf)

Cepak, F. & Marzi, B. (2009). Environmental Impacts of the Port of Koper. *Varstov Narave* 22. pp. 97-116. Recuperado de: [http://www.zrsvn.si/dokumenti/63/2/2009/Cepak\\_Marzi\\_1573.pdf](http://www.zrsvn.si/dokumenti/63/2/2009/Cepak_Marzi_1573.pdf)

CEPAL/PNUMA. (1976). El Medio Ambiente en América Latina. Recuperado de: <http://archivo.cepal.org/pdfs/1976/S7630422.pdf>

Chipoco, J. & Valencia, F. (2015). 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. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2192/T01-C541-T.pdf?sequence=1>

Corleto, A. & Cortez, D. (2012). Comparación de los métodos de Bergerhoff y placas receptoras para la cuantificación de polvo atmosférico sedimentable. Universidad de El Salvador. El Salvador. Obtenido de: <https://es.scribd.com/doc/164640302/Trabajo-de-Graduacion-Comparacion-de-los-Metodos-de-Bergerhoff-y-Placas-Receptoras-para-la-Cuanti#scribd>

DANE. (2008). Estimación e Interpretación del Coeficiente de Variación de la Encuesta Censal – Censo General 2005. Colombia.

De la Paz, J. (2007). Velocidad de deposición de dióxido de azufre, cloruros y polvo ambiental en los depósitos del archive nacional de la República de Cuba. Grupo

Español del IIC. III Congreso. 183-192. Recuperado de: [http://ge-iic.com/files/3Congreso/Jose\\_delaPaz.pdf](http://ge-iic.com/files/3Congreso/Jose_delaPaz.pdf)

Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). (2005). Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos. Perú. Recuperado de: [http://www.digesa.sld.pe/norma\\_consulta/protocolo\\_calidad\\_de\\_aire.pdf](http://www.digesa.sld.pe/norma_consulta/protocolo_calidad_de_aire.pdf)

Egami, R., Watson, J., Rogers, C., Ruby, M., Rood, M. & Chow, J. (1989). Particle fallout container measurement of dustfall from the atmosphere. *Methods of Air Sampling and Analysis*. Pp. 440-445.

El Comercio. (2018a). Invierno 2018: ¿Cuándo inicia estación en Perú?. Recuperado de: <https://elcomercio.pe/peru/invierno-2018-inicia-estacion-peru-noticia-528987>

El Comercio. (2018b). SENAMHI: Hoy inició oficialmente la estación de verano. Recuperado de: <https://elcomercio.pe/peru/senamhi-hoy-inicio-oficialmente-estacion-verano-noticia-nndc-590119>

Electronic Code Of Federal Regulations. (2015). Procedures for Determining Comparability Between Candidate Methods and Reference Methods. Recuperado de: [http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=f97ece5643c57057a6f5a0c7555307a9&mc=true&node=ap40.6.53\\_135.4&rgn=div9](http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=f97ece5643c57057a6f5a0c7555307a9&mc=true&node=ap40.6.53_135.4&rgn=div9)

EPA. (1998). Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias. EE.UU. Recuperado de: <http://www3.epa.gov/ttnecat1/dir1/pmcontech2.pdf>

Estuardo, A. (2012). Estadística y Probabilidades. Chile. Recuperado de:  
[https://www.academia.edu/10942323/Estadistica\\_y\\_Probabilidad](https://www.academia.edu/10942323/Estadistica_y_Probabilidad)

Facultad de Ciencias Agropecuarias. (2017). Análisis Exploratorio de Datos – Estadística Descriptiva. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Recuperado de:  
<http://www.fca.proed.unc.edu.ar/mod/book/view.php?id=3270&chapterid=168>

Fernandez, S., Cordoba, A. & Cordero, J. (2002). Estadística Descriptiva. ESIC Editorial. Madrid, España. Recuperado de:  
<https://books.google.com.pe/books?id=31d5cGxXUnEC&printsec=frontcover&dq=estadistica+descriptiva&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwilodX2wMziAhUGpFkKHXXkBBpEQ6AEIKDAA#v=onepage&q=estadistica%20descriptiva&f=false>

Forschungsstelle für Umweltbeobachtung. (n.f.). Environmental Analysis: Measuring of dust (total particulate precipitation). Suiza. Recuperado de: <http://www.fub-ag.ch/index.php/en/angebot/gesamtstaubmessung>

Gallego, A., González, I., Sánchez, B., Fernández, P., Garcinuño, R., Bravo, J., Pradana, J., García, M. & Durand, J. (2012). Contaminación Atmosférica. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de:  
<https://books.google.com.pe/books?id=7xYvtMyRP7EC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Gallo, V. (2003). Contribución al mejoramiento de la calidad de aire en la ciudad de Guayaquil. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. Recuperado de:

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/5581/1/industrial%20%20%202950.pdf>

García, J. & Tantaleán, J. (2008). Evaluación del grado de contaminación del aire en el Centro Histórico de Lima. UNALM 69(4). Lima, Perú. Recuperado de: <http://www.lamolina.edu.pe/Investigacion/web/anales/2008/4.pdf>

García, M., Ramírez, H, Ulloa, H., Arias, S. & Pérez, A. (2012). Las inversiones térmicas y la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de Guadalajara (México). Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante. Investigaciones Geográficas, 58. Pp. 09 – 29.

García, M., Ulloa, H., Ramírez, H., Fuentes, M., Arias, S. & Espinosa, M. (2014). Comportamiento de los vientos dominantes y su influencia en la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. Guadalajara, México. Revista Iberoamericana de Ciencias. Recuperado de: <http://www.reibci.org/publicados/2014/julio/2200120.pdf>

García, R., González, J. & Jornet, J. (2010). SPSS: Pruebas no paramétricas – Kolmogorov Smirnov. Grupo de Innovación Educativa, Universidad de Valencia. España. Recuperado de: [http://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS\\_0802A.pdf](http://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0802A.pdf)

Golder Associates. (2007). Rehabilitation Plan for the Gortmore TMF Silvermines CO. Tipperary. North Tipperary County Council, Irlanda. Recuperado de: <https://www.tipperarycoco.ie/sites/default/files/Publications/Silvermines%20Rehabilitation%20Gortmore%20Report.pdf>

- Gorgas, J., Cardiel, N. & Zamorano, J. (2011). Estadística Básica para Estudiantes de Ciencias. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: [http://webs.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/ESTADISTICA/libro\\_GCZ2009.pdf](http://webs.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/ESTADISTICA/libro_GCZ2009.pdf)
- Guerrero, A., Victoria, M. & Curieses, M. (2007). Estadística Básica. 1a Edición. Medellín, Colombia. Recuperado de: [https://books.google.com.pe/books?id=pLF16E8nF6gC&printsec=frontcover&dq=estadistica+basica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwit7qS4gL\\_iAhWts1kKHRMhB7oQ6AEIJzAA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=pLF16E8nF6gC&printsec=frontcover&dq=estadistica+basica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwit7qS4gL_iAhWts1kKHRMhB7oQ6AEIJzAA#v=onepage&q&f=false)
- Guevara, M. (2008). Problemas fundamentales en meteorología. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. Recuperado de: <https://books.google.com/books?id=Gp0tLWUgCzsC&pg=PA31&dq=presi%C3%B3n+atmosferica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjdk8yh0lvaAhUG9GMKHU7oB-sQ6AEIWjAJ#v=onepage&q=presi%C3%B3n%20atmosferica&f=false>
- Guillen, A., Badii, M., Prado, L., Abreu, J. & Valenzuela, J. (2011). Conceptos y Aplicación de Muestreo Conglomerado y Sistemático. International Journal of Good Conscience. Vol. 6(2). 186-194. Recuperado de: [http://www.spentamexico.org/v6-n2/6\(2\)186-194.pdf](http://www.spentamexico.org/v6-n2/6(2)186-194.pdf)
- Hildebrandt Gruppe. (2016). El Impacto Ambiental de los Edificios. Recuperado de: <http://www.hildebrandt.cl/el-impacto-ambiental-de-los-edificios/>
- Idaho Department of Environmental Quality. (n.f.). Strategy for the Development of an Airshed Mangement Program for the Treasure Valley. Idaho, EE.UU. Recuperado

de: [https://www.deq.idaho.gov/media/352830-airshed\\_management\\_entire.pdf](https://www.deq.idaho.gov/media/352830-airshed_management_entire.pdf)

Independent Testing Services Limited. (2016). Test Report N°. RN3462 Dust Monitoring using the Bergerhoff Method. Primary Care Centre, Grangegorman Upper, Dublin, Irlanda. Recuperado de: <http://ggda.ie/assets/Report-RN3462-Dust-Monitoring-Grangegorman-Dublin.pdf>

Jereb, G., Marzi, B., Cepak, F., Katz, S. & Poljšak, B. (2009). Collection and analysis of particulate matter deposition around the Port of Koper. International Journal of Sanitary Engineering Research. Vol. 3(1). 4-16.

Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico. (2013). Contaminación del Aire. Puerto Rico. Recuperado de: <http://www2.pr.gov/agencias/jca/areasprogramaticas/biblioteca/documents/contaminacionaire.pdf>

Lagares, P. & Puerto, J. (2001). Población y muestra Técnicas de muestreos. MaMaEuSch. Sevilla, España. Recuperado de: [http://optimierung.mathematik.uni-kl.de/mamaesch/veroeffentlichungen/ver\\_texte/sampling\\_es.pdf](http://optimierung.mathematik.uni-kl.de/mamaesch/veroeffentlichungen/ver_texte/sampling_es.pdf)

Lima Como Vamos. (2012). Evaluando la Gestión en Lima al 2012. Tercer Informe de Resultados sobre Calidad de Vida. Lima, Perú. Recuperado de: <http://www.actualidadambiental.pe/wp-content/uploads/2013/10/Informe-Evaluando-Lima-al-2012.pdf>

Lozano, F. (2013). Determinación del Grado de Partículas Atmosféricas Sedimentables, mediante el Método de Muestreo Pasivo, Zona Urbana – Ciudad de Moyobamba, 2012. UNSM. Moyobamba, San Martín, Perú.

Marcos, R., Cabrera, M., Laos, H., Mamani, D. & Valderrama, A. (2008). Estudio Comparativo para la Determinación del Polvo Atmosférico Sedimentable Empleando las Metodologías de Tubo Pasivo y de Placa Receptoras en la Ciudad Universitaria de San Marcos – Lima. Revista de investigación Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos (CEDIT), Vol. 3, 49-58. UNMSM. Lima, Perú.

Marcos, R. & Valderrama, A. (2012). Contaminación del aire por material particulado en la ciudad universitaria-UNMSM. XIX CONIMERA. Lima, Perú. Recuperado de: [http://guzlop-editoras.com/web\\_des/med02/saludpublica/pld0456.pdf](http://guzlop-editoras.com/web_des/med02/saludpublica/pld0456.pdf)

Martel, P. & Díez, F. (1997). Probabilidad y estadística en medicina. Recuperado de: <https://books.google.com.pe/books?id=J12IRXENQ88C&pg=PA280&dq=PRUEBA+NO+PARAMETRICA+DEFINICION&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiMnPDyt8ziAhXKx1kKHZl3CnMQ6AEIljAB#v=onepage&q=PRUEBA%20NO%20PARAMETRICA%20DEFINICION&f=false>

Martin, P. (2005). Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad de Buenos Aires (Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: [http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_3931\\_Martin.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3931_Martin.pdf)

Martins, J. (2014). A critical evaluation of the challenges facing dust management within gold mining regions of South Africa (Tesis Maestría). North-West University.

MINSA. (2013). Análisis de Situación de Salud 2013. Lima, Perú. Recuperado de: <http://www.limaeste.gob.pe/limaeste/DIRECCIONES/OEP/Asis/SemanasEpi/Analisis%20de%20Situacion%20de%20Salud/2013/ASIS%20DISA%20IV%20LIMA%20ESTE%202013.pdf>

Moscote, O. & Quintana, L. (2008). Estadística I Programa Administración Pública Territorial. Escuela Superior de Administración Pública. Bogotá, Colombia. Recuperado de: [http://www.esap.edu.co/portal/wp-content/uploads/2015/08/5\\_estadistica1.pdf](http://www.esap.edu.co/portal/wp-content/uploads/2015/08/5_estadistica1.pdf)

Munich Airport. (n.f.). The airport and the environment – Dust deposition with Bergerhoff process. Munich, Alemania. Recuperado de: <http://www.munich-airport.de/en/company/umwelt/klima/untersuchung/passmeth/bergerhoff/index.jsp>

Municipalidad de Miraflores. (n.f.). Recuperado de: [http://www.miraflores.gob.pe/\\_contenTempl1.asp?idpadre=4951&idhijo=4972&idcontenido=5397](http://www.miraflores.gob.pe/_contenTempl1.asp?idpadre=4951&idhijo=4972&idcontenido=5397)

Narcizo, J. (2002). Elementos para el Diagnóstico de la Contaminación del Aire de una Localidad. Perú. Recuperado de: <http://www.care.pe/pdfs/GIRH/MUSA/CD1%20Proyecto%20modelos%20urbanos%20de%20salud%20ambiental%20MUSA/201.pdf>

OEFA. (n.f.). Equipos de medición de la calidad del aire. MINAM. Perú. Recuperado de:  
<http://sial.segat.gob.pe/download/file/fid/54411>

Odour Monitoring Ireland. (2014). Odour Monitoring Ireland Services: Dust Monitoring. Irlanda. Recuperado de:  
[http://www.odoureireland.ie/services\\_dustmonitoring.htm](http://www.odoureireland.ie/services_dustmonitoring.htm)

Padovano, F. (2018). Meteorología básica para dones. Ediciones Paraninfo. Recuperado de:  
[https://books.google.com.pe/books?id=EchHDwAAQBAJ&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.pe/books?id=EchHDwAAQBAJ&hl=es&source=gbs_navlinks_s)

Pájaro, D. (2002). La formulación de hipótesis. Chile. Recuperado de:  
<http://www.cintademoebio.uchile.cl/index.php/CDM/article/viewFile/26238/27530>

Pérez, F. & Rodas, N. (2015). Influencia de la Inversión Térmica en la Contaminación Atmosférica según los ECAs en el Distrito de Cajamarca del 2013-2015. Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú. Recuperado de:  
<http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/10698/P%C3%A9rez%20Rodr%C3%ADguez%2c%20Fanny%20Guadalupe%20-%20Rodas%20Monsefu%2c%20Nancy%20Jhoany.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pérez, P., González, E. & Miñana, A. (1993). Muestreo de Contaminantes en Aire por Captación Pasiva. Universidad de Murcia. Recuperado de:

[https://books.google.com.pe/books?id=P\\_Cz-ddEJOcC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=P_Cz-ddEJOcC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false)

Puente, M. (2010). Metodología para la determinación de metales traza en depósitos atmosféricos. CONAMA 10. Recuperado de: <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/40848.pdf>

Quereda, J. (2005). Curso de Climatología General. Universitat Jaume I. Recuperado de: [https://books.google.com/books?id=mW89MHwce-wC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com/books?id=mW89MHwce-wC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Quevedo, H. & Pérez, B. (2014). Estadística para ingeniería y ciencias. Primera edición. México. Recuperado de: [https://books.google.com.pe/books?id=jvLhBAAQBAJ&pg=PR4&dq=estadística+aplicada+a+ingeniería+ambiental&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwihm8aBjb\\_iAhXut1kKHQDNDQwQ6AEIMjAC#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=jvLhBAAQBAJ&pg=PR4&dq=estadística+aplicada+a+ingeniería+ambiental&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwihm8aBjb_iAhXut1kKHQDNDQwQ6AEIMjAC#v=onepage&q&f=false)

Ramos, L. (2017). Partículas atmosféricas sedimentables en tres áreas de esparcimiento poblacional de las principales vías vehiculares del casco urbano de la ciudad de Tingo María. Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Huánuco, Perú. Recuperado de: [http://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades\\_academicas/PARTICULAS%20ATMOSFERICA%20SEDIMENTABLES%20EN%20TRES%20AREAS%20DE%20ESPARCIMIENTO%20POBLACIONAL%20DE%20LAS%20PRI](http://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/PARTICULAS%20ATMOSFERICA%20SEDIMENTABLES%20EN%20TRES%20AREAS%20DE%20ESPARCIMIENTO%20POBLACIONAL%20DE%20LAS%20PRI)

NCIPALES%20VIAD%20VEHICULARES%20DEL%20CASO%20URBANO%20DE%20LA%20CIUDAD%20DE%20TINGO%20MARIA.pdf

Remón, X. (2005). Estudio de la relación entre la situación meteorológica a escala sinóptica y la contaminación a escala regional: Aplicación al ozono troposférico en Catalunya. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona. Barcelona, España.

Roncal, M. (2008). Monitoreo de Contaminantes Sólidos Sedimentables (CSS) en la ciudad de Celendín durante el periodo abril – junio del 2008. FIAT LUX Vol. 4(2), 291-296. Cajamarca, Perú. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/256547611\\_Monitoreo\\_de\\_contaminantes\\_solidos\\_sedimentables\\_CSS\\_en\\_la\\_ciudad\\_de\\_Celendin\\_durante\\_el\\_periodo\\_abril-junio\\_del\\_2008](https://www.researchgate.net/publication/256547611_Monitoreo_de_contaminantes_solidos_sedimentables_CSS_en_la_ciudad_de_Celendin_durante_el_periodo_abril-junio_del_2008)

Rueda, F. (2015). Desarrollo y aplicación de metodologías analíticas para la determinación y especiación de elementos contaminantes en deposiciones atmosféricas (Tesis Doctoral). Universidad de Extremadura. Recuperado de: [http://dehesa.unex.es:8080/xmlui/bitstream/handle/10662/2718/TDUEX\\_2015\\_Rueda\\_Holgado.pdf?sequence=1](http://dehesa.unex.es:8080/xmlui/bitstream/handle/10662/2718/TDUEX_2015_Rueda_Holgado.pdf?sequence=1)

Rustom, A. (2012). Estadística Descriptiva, probabilidad e inferencia. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile. Recuperado de: [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120284/Rustom\\_Antonio\\_Estadistica\\_descriptiva.pdf?sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120284/Rustom_Antonio_Estadistica_descriptiva.pdf?sequence=1)

Salafranca, Ll., Solanas, A., Núñez, M., Jiménez, M., Miralles, D. & Serra, G. (2000).

Estadística aplicada con SPSS y Statgraphics. 1a edición. España. Recuperado de:  
[https://books.google.com.pe/books?id=odNxBeRLXUEC&pg=PA101&dq=prueba+m+mann+whitney&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiS58\\_AtziAhVvxFkKHYfdCewQ6AEILzAB#v=onepage&q=prueba%20mann%20whitney&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=odNxBeRLXUEC&pg=PA101&dq=prueba+m+mann+whitney&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiS58_AtziAhVvxFkKHYfdCewQ6AEILzAB#v=onepage&q=prueba%20mann%20whitney&f=false)

Secretaría de Ambiente. (2016). Calidad del aire en Quito Informe Annual 2015. Quito,

Ecuador. Recuperado de:  
[http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria\\_Ambiente/red\\_monitoreo/informacion/ICA2015.pdf](http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/ICA2015.pdf)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2013). Calidad del

Aire: Una Práctica de Vida. Recuperado de:  
<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>

SENAMHI. (2004a). Boletín Meteorológico e Hidrológico del Perú. Recuperado de:

<http://www.wamis.org/countries/peru/PER200408.pdf>

SENAMHI. (2004b). Boletín Meteorológico e Hidrológico del Perú. Recuperado de:

<http://www.wamis.org/countries/peru/PER200409.pdf>

SENAMHI. (2008a). Evaluación de la Contaminación Atmosférica en la Zona

Metropolitana de Lima-Callao Mayo 2008. Lima, Perú. Recuperado de:  
[http://www.senamhi.gob.pe/pdf/bolHidro\\_ambiente.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/bolHidro_ambiente.pdf)

SENAMHI. (2008b). Evaluación de la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Lima–Callao Agosto 2008. Lima, Perú. Recuperado de: [http://www.senamhi.gob.pe/pdf/bol\\_cont\\_atmos.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/bol_cont_atmos.pdf)

SENAMHI. (2009). Pronóstico mensual de la calidad de aire en la zona metropolitana de Lima y Callao y zonas de atención prioritaria septiembre 2009.

SENAMHI. (2013a). Boletín Regional del SENAMHI-Loreto. MINAM. Loreto, Perú.

SENAMHI. (2013b). Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2011. Ministerio del Ambiente. Lima, Perú. Recuperado de: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/E926CA7DFE4EE59905257CCA00528B1E/\\$FILE/1\\_EvalCalidadAireLima2011.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/E926CA7DFE4EE59905257CCA00528B1E/$FILE/1_EvalCalidadAireLima2011.pdf)

SENAMHI. (2013c). Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2011. Ministerio del Ambiente. Perú.

Serrano, M. (2006). Diseño de la Red de Evaluación y Seguimiento de la Calidad del Aire para la Ciudad de Neiva – Huila. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14587/T41.06%20S68d.pdf?sequence=1>

Silva, J. & Montoya, Z. (2004). 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. Lima, Perú.

Silva, J. (2013). Gestión de la Calidad del Aire para la Toma de Decisiones. SENAMHI. Lima, Perú. Recuperado de: <http://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/pdf/2013-dgia/07-Silva-DMMA-20130605-presentacion-RedCAire.pdf>

Swisscontact. (2001). Manual de Laboratorio. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/manualab/manual.pdf>

Thöni, L., Krieg, F. & Siewer, U. (1999). Testing the Bergerhoff method to determine the bulk deposition loads of 49 elements. Atmospheric Environment, 33.

Toledo, R. (2011). Prueba de Normalidad (Con el MINITAB). Facultad de Administración y Turismo, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaráz, Ancash. Perú. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/94621641/Prueba-de-Normalidad-Estadistica>

Triola, M. (2009). Estadística. (Rev. Ed. 10). México.

Universidad Científica del Sur (UCSUR). (2015). La Universidad Científica del Sur firma un convenio con la Municipalidad de Miraflores. Recuperado de: <http://www.ucsur.edu.pe/noticias.php?ver=si&id=1827&noti=1>

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. (2012). Messung atmosphärischer Depositionen – Bestimmung des Staubniederschlags nach der Bergerhoff-Methode (VDI 4320). Alemania. Recuperado de: [https://www.vdi.de/uploads/tx\\_vdirili/pdf/1860212.pdf](https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/1860212.pdf)

Villacrés, M. (2015). Evaluación de la Contaminación Atmosférica de la Ciudad de Ambato Relacionada con el Material Particulado Sedimentable. Escuela Superior

Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. Recuperado de:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4855/1/236T0164.pdf>

Vizcarra, M. (2006). La atmósfera contaminada y sus relaciones con el público. Segunda edición. Lima, Perú.

Vizcarra, M. (2013). El aire que respiramos. Primera edición. Lima – Perú. Pp. 16, 94.

World Bank Group. (1998). Airborne Particulate Matter. Pollution Prevention and Abatement Handbook. Pp. 201-207. Recuperado de:  
<https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/59cfb38048855493b35cf36a6515bb18/HandbookAirborneParticularMatter.pdf?MOD=AJPERES>

Zapata, C., Quijano, R., Molina, E., Rubiano, C. & Londoño, G. (2008). Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire en el Valle de Aburra con Medidores Pasivos. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/14849/1/9215-15473-1-PB.pdf>

Zúñiga, I. & Crespo Del Arco, E. (2010). Meteorología y Climatología. UNED. pp. 86.  
 Recuperado de:  
[https://books.google.com/books?id=E6iXJ2QZiQ4C&pg=PA86&lpg=PA86&dq=meteorologia+estabilidad+atmosferica&source=bl&ots=HZDDT1--fV&sig=zRL4n\\_tQ-MuNNE8NCxGRNQ183FE&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwia3LzQ1YHaAhVG12MKHYXIBwI4FBD0AQhZMAg#v=onepage&q=meteorologia%20estabilidad%20atmosferica&f=false](https://books.google.com/books?id=E6iXJ2QZiQ4C&pg=PA86&lpg=PA86&dq=meteorologia+estabilidad+atmosferica&source=bl&ots=HZDDT1--fV&sig=zRL4n_tQ-MuNNE8NCxGRNQ183FE&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwia3LzQ1YHaAhVG12MKHYXIBwI4FBD0AQhZMAg#v=onepage&q=meteorologia%20estabilidad%20atmosferica&f=false)

## X. ABREVIATURAS

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

CSS: Contaminante Sólido Sedimentable.

ECA: Estándar de Calidad Ambiental.

MB: Método Bergerhoff.

MPR: Método de Placas Receptoras.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable.

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

REDPANAIRE: Red Panamericana de Muestreo de la Contaminación del Aire.

RR.SS.: Residuos Sólidos.

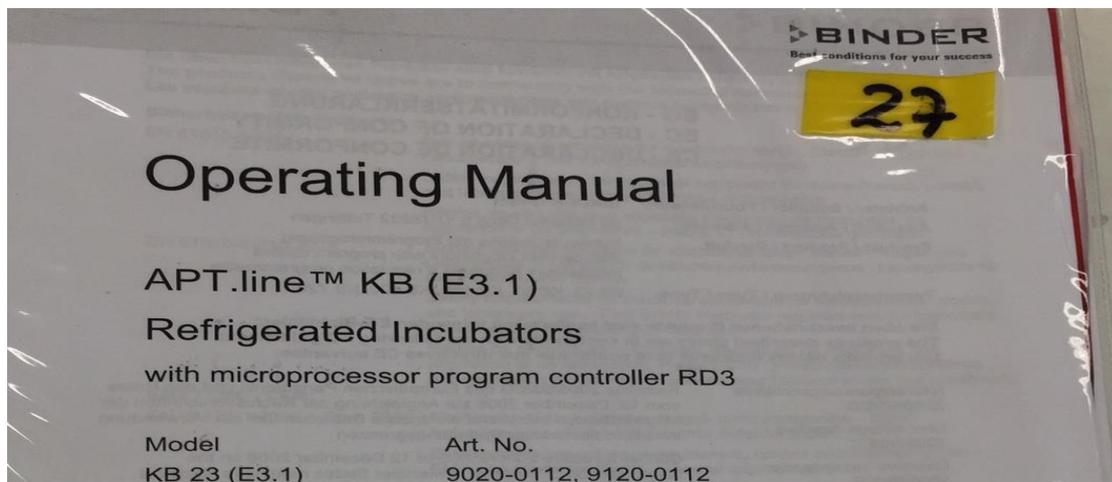
SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

XI. ANEXOS

ANEXO 1. FICHA TÉCNICA DE LA BALANZA ANALÍTICA SARTORIUS, MODELO ED224S.

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES LABORATORIO PA-312 INGENIERÍA AMBIENTAL		UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	
<b>MANUAL DE USO</b>			
-	NOMBRE	:	BALANZA ANALÍTICA
-	MARCA	:	SARTORIUS
-	MODELO	:	ED224S
-	NÚMERO DE SERIE	:	28003540
-	CÓDIGO	:	-

ANEXO 2. FICHA TÉCNICA DE ESTUFA BINDER APT.LINE KB (E3.1).



ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA.

<b>TÍTULO: Comparación de los Métodos Bergerhoff y Placas Receptoras para la Determinación de Polvo Atmosférico Sedimentable en el Distrito de Miraflores, febrero 2016 – febrero 2017.</b> <b>AUTOR: Carlos Alonso Ibazeta Gamarra</b>				
¿Cuál es la diferencia entre los métodos Bergerhoff y Placas Receptoras para determinar polvo atmosférico sedimentable en el distrito de Miraflores?	Determinar si el método de Placas Receptoras presenta diferencia con el método Bergerhoff, a través de las concentraciones de PAS, diferencia de medias y análisis de varianza, de manera que los resultados de ambos métodos puedan ser comparables para el análisis de la calidad del aire.	El método de Placas Receptoras y Bergerhoff son diferentes para determinar Polvo Atmosférico Sedimentable en el distrito de Miraflores.	<p><b>Independiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentraciones del Método de Bergerhoff con Polvo Atmosférico Sedimentable.</li> </ul> <p><b>Dependiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentraciones del Método de Placas Receptoras con Polvo Atmosférico Sedimentable.</li> </ul>	<p><b>Tratamientos de los métodos en estudio:</b></p> <p>Método Bergerhoff. Método de Placas Receptoras.</p> <p><b>Diseño Experimental:</b></p> <p>Diseño aleatorizado sistemático. Con dos tratamientos y tres repeticiones cada uno; en cinco puntos de monitoreo, a través de la selección de muestras mediante la técnica de muestreo aleatorio de tipo sistemático durante un año.</p> <p><b>Análisis Estadístico:</b></p> <p>Análisis del modelo de efectos aleatorizados mediante el análisis de</p>
¿Cuáles son los valores de PAS obtenidos con el método Bergerhoff y Placas Receptoras?	Determinar las concentraciones de PAS en cinco puntos críticos en el distrito de Miraflores para el método de Placas	<b>Ho:</b> El método de Placas Receptoras y Bergerhoff son diferentes en la determinación		

	Receptoras y Bergerhoff.	de Polvo Atmosférico Sedimentable en el distrito de Miraflores.		normalidad y Mann-Whitney.
¿Existe diferencia de medias entre el método Bergerhoff y Placas Receptoras?	Comprobar si el método de Placas Receptoras y Bergerhoff son diferentes, mediante la diferencia de medias.	<b>Ha:</b> El método de Placas Receptoras y Bergerhoff son iguales en la		
¿Existe diferencia significativa entre el método Bergerhoff y Placas Receptoras?	Comprobar si el método de Placas Receptoras y Bergerhoff son diferentes, mediante el análisis de varianzas.	determinación de Polvo Atmosférico Sedimentable en el distrito de Miraflores.		

ANEXO 4. CONCENTRACIÓN DE PAS DE DATOS ORIGINALES.

Los valores negativos indican pérdida de muestra.

Zona	Repetición	Mes	Placas Receptoras (t/km <sup>2</sup> /mes)	Bergerhoff (t/km <sup>2</sup> /mes)
Aurora	Aurora 1	Febrero	-4.9071	9.5682
	Aurora 2		3.2786	10.2314
	Aurora 3		-1.8643	11.3398
Centro de Idiomas	Idiomas 1		3.9857	11.9650
	Idiomas 2		4.8857	10.6672
	Idiomas 3		3.7607	11.2451
Parque Reducto	Reducto 1		-2.9613	58.5536
	Reducto 2		4.5097	28.4853
	Reducto 3		3.7355	24.2669
Manuel Bonilla	Bonilla 1		0.0000	82.8461
	Bonilla 2		16.2484	99.7371
	Bonilla 3		9.8710	127.4609
Huaca Pucllana	Huaca 1	11.2645	21.1522	
	Huaca 2	7.6935	22.4272	

	Huaca 3		8.3323	11.8254
Aurora	Aurora 1	Marzo	-5.6069	4.9692
	Aurora 2		-8.5759	4.7393
	Aurora 3		-9.0724	4.5359
Centro de Idiomas	Idiomas 1		3.5793	7.5299
	Idiomas 2		3.7552	7.3930
	Idiomas 3		2.7414	9.4723
Parque Reducto	Reducto 1		6.4607	34.5842
	Reducto 2		3.5143	20.2602
	Reducto 3		4.3714	17.1137
Manuel Bonilla	Bonilla 1		10.4464	47.5544
	Bonilla 2	11.6786	63.5614	
	Bonilla 3	11.8286	41.1242	
Huaca Pucllana	Huaca 1	9.1607	6.4302	
	Huaca 2	7.7357	7.6376	
	Huaca 3	7.9179	8.0126	
Aurora	Aurora 1	Abril	0.4875	5.2720
	Aurora 2		1.9781	4.5757

	Aurora 3		2.8125	3.9043
Centro de Idiomas	Idiomas 1		4.0687	5.8186
	Idiomas 2		3.9656	5.4849
	Idiomas 3		3.5438	6.1951
Parque Reducto	Reducto 1		7.0969	9.5907
	Reducto 2		8.5969	9.5078
	Reducto 3		6.3000	11.3647
Manuel Bonilla	Bonilla 1		15.0194	133.6131
	Bonilla 2		16.0839	101.5853
	Bonilla 3		11.8839	199.9962
Huaca Pucllana	Huaca 1		6.5710	5.6839
	Huaca 2		5.6806	6.0325
	Huaca 3		5.9613	5.8785
Aurora	Aurora 1	Mayo	6.6900	2.5389
	Aurora 2		2.0400	3.7894
	Aurora 3		17.2800	3.0126
Centro de Idiomas	Idiomas 1		3.1200	5.5041
	Idiomas 2		3.3100	5.6557

	Idiomas 3		2.8600	5.7220
Parque Reducto	Reducto 1		7.8600	5.2104
	Reducto 2		9.2700	6.2999
	Reducto 3		6.9700	5.7220
Manuel Bonilla	Bonilla 1		10.3000	40.6129
	Bonilla 2		10.1700	33.2236
	Bonilla 3		7.2300	34.5215
Huaca Pucllana	Huaca 1		5.8700	7.8630
	Huaca 2		5.8400	8.0335
	Huaca 3		5.5100	7.8062
Aurora	Aurora 1	Junio	3.2793	5.3223
	Aurora 2		2.6690	5.5961
	Aurora 3		3.3621	5.6389
Centro de Idiomas	Idiomas 1		3.4966	5.8858
	Idiomas 2		2.7310	5.0930
	Idiomas 3		2.9793	5.1637
Parque Reducto	Reducto 1		12.3310	10.2766
	Reducto 2		11.3172	10.0456

	Reducto 3		5.2655	13.6907
Manuel Bonilla	Bonilla 1	Julio	8.5241	36.9652
	Bonilla 2		8.5759	129.1041
	Bonilla 3		9.1552	194.4873
Huaca Pucllana	Huaca 1		4.5000	4.5683
	Huaca 2		3.9207	4.6656
	Huaca 3		3.9517	6.6256
Aurora	Aurora 1		1.3688	5.5787
	Aurora 2		0.4031	4.6752
	Aurora 3		10.7531	4.8078
Centro de Idiomas	Idiomas 1	2.5031	5.0731	
	Idiomas 2	2.9625	4.9653	
	Idiomas 3	2.6625	4.6172	
Parque Reducto	Reducto 1	6.7406	6.2501	
	Reducto 2	6.7312	6.3082	
	Reducto 3	6.3469	8.0241	
Manuel Bonilla	Bonilla 1	7.3312	21.7097	
	Bonilla 2	9.9469	34.8732	

	Bonilla 3		7.0031	28.7805
Huaca Pucllana	Huaca 1		56.0156	4.7249
	Huaca 2		3.8344	4.8658
	Huaca 3		3.8625	4.8907
Aurora	Aurora 1	Agosto	2.1300	3.6039
	Aurora 2		0.0000	4.2533
	Aurora 3		0.0000	4.2624
Centro de Idiomas	Idiomas 1		4.0258	3.8851
	Idiomas 2		4.1710	6.7376
	Idiomas 3		4.0452	4.0142
Parque Reducto	Reducto 1		0.0000	10.5737
	Reducto 2		0.0000	9.5401
	Reducto 3		8.6000	8.1407
Manuel Bonilla	Bonilla 1		9.4742	44.9057
	Bonilla 2	11.1387	55.6871	
	Bonilla 3	14.7581	109.3720	
Huaca Pucllana	Huaca 1	4.4710	3.9275	
	Huaca 2	4.4613	4.1329	

	Huaca 3		4.1710	4.8003
Aurora	Aurora 1	Setiembre	4.0355	4.7918
	Aurora 2		3.4548	4.8517
	Aurora 3		15.0000	4.8003
Centro de Idiomas	Idiomas 1		3.2100	2.7553
	Idiomas 2		3.2300	3.0120
	Idiomas 3		2.8000	3.8420
Parque Reducto	Reducto 1		10.3161	10.1911
	Reducto 2		7.4323	14.9058
	Reducto 3		14.1677	13.1346
Manuel Bonilla	Bonilla 1		6.5900	5.8445
	Bonilla 2		7.1000	5.2610
	Bonilla 3		8.0100	4.9338
Huaca Pucllana	Huaca 1		3.8300	3.6164
	Huaca 2		3.7000	3.5721
	Huaca 3		3.5900	4.3768
Aurora	Aurora 1	Octubre	3.3548	4.6918
	Aurora 2		3.5290	4.5177

	Aurora 3		3.3516	4.5260
Centro de Idiomas	Idiomas 1		3.8645	4.3574
	Idiomas 2		4.0935	5.9241
	Idiomas 3		3.6484	4.8161
Parque Reducto	Reducto 1		10.3097	7.3996
	Reducto 2		5.9484	13.8293
	Reducto 3		9.2484	9.5521
Centro Promotor	Promotor 1		6.5774	4.7636
	Promotor 2		7.3419	4.9681
	Promotor 3		6.6065	4.8796
Huaca Pucllana	Huaca 1		5.9677	5.0924
	Huaca 2		6.2581	4.8796
	Huaca 3		5.8645	6.6950
Aurora	Aurora 1	Noviembre	1.1529	52.3199
	Aurora 2		3.2355	50.3686
	Aurora 3		6.8032	46.1793
Centro de Idiomas	Idiomas 1		4.2935	55.0640
	Idiomas 2		3.8613	51.6034

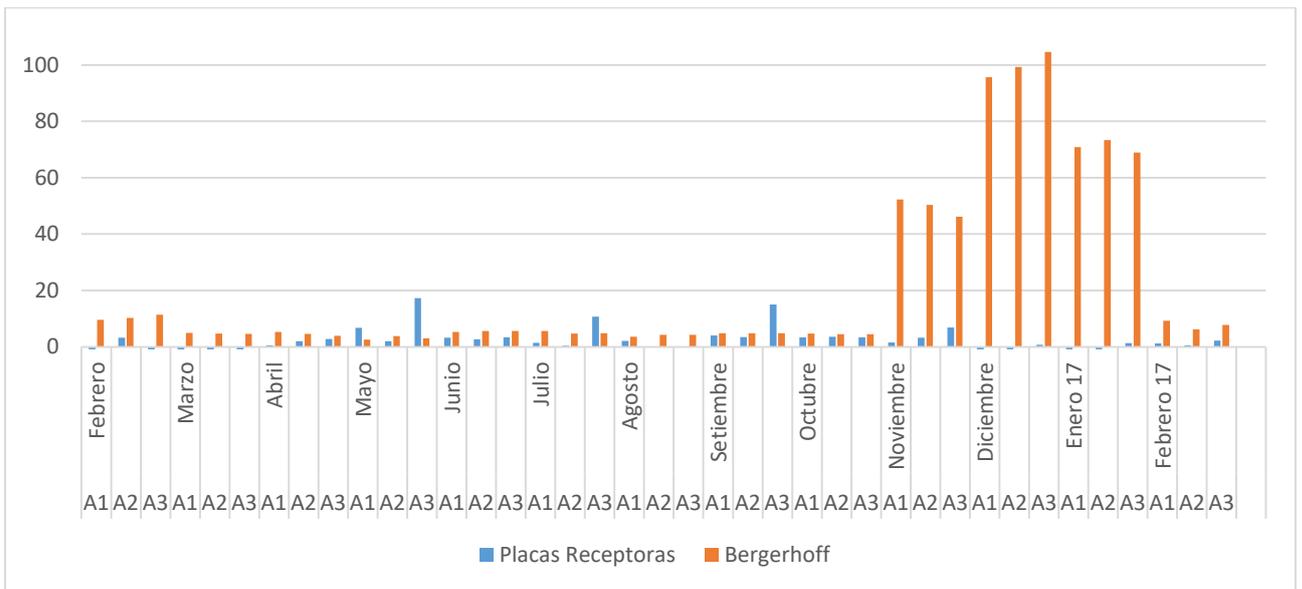
	Idiomas 3		3.2968	50.7469
Parque Reducto	Reducto 1		9.2742	59.9118
	Reducto 2		10.0710	60.8783
	Reducto 3		7.7355	74.9858
Centro Promotor	Promotor 1		7.7342	61.6771
	Promotor 2		9.6419	66.4426
	Promotor 3		7.0355	66.3115
Huaca Pucllana	Huaca 1		9.4581	28.1296
	Huaca 2		9.3290	48.5240
	Huaca 3		8.1968	77.1627
Aurora	Aurora 1		-10.8219	95.6256
	Aurora 2		-2.7125	99.2508
	Aurora 3		0.7062	104.5449
Centro de Idiomas	Idiomas 1	Diciembre	3.0094	129.8577
	Idiomas 2		3.5406	123.1157
	Idiomas 3		3.1469	118.5704
Parque Reducto	Reducto 1		5.7406	104.5366
	Reducto 2		7.4562	133.5575

	Reducto 3		7.2937	113.5222
Centro Promotor	Promotor 1		4.3813	135.1878
	Promotor 2		3.3938	126.1441
	Promotor 3		3.0688	124.9035
Huaca Pucllana	Huaca 1		6.3781	123.0743
	Huaca 2		5.8844	130.5982
	Huaca 3		5.9469	136.7240
Aurora	Aurora 1		-6.7613	70.7987
	Aurora 2		-4.1226	73.3660
	Aurora 3		1.2968	68.9071
Centro de Idiomas	Idiomas 1		3.8032	95.6832
	Idiomas 2		5.0452	95.6382
	Idiomas 3	Enero 2017	3.7742	94.0025
Parque Reducto	Reducto 1		7.6355	77.6796
	Reducto 2		8.6677	87.6615
	Reducto 3		7.1935	75.5954
Centro Promotor	Promotor 1		5.9968	95.5245
	Promotor 2		6.6323	99.8950

	Promotor 3		4.4613	114.4495
Huaca Pucllana	Huaca 1	Febrero 2017	4.7419	100.4097
	Huaca 2		3.7968	98.5308
	Huaca 3		4.2484	93.4530
Aurora	Aurora 1		1.2214	9.2612
	Aurora 2		0.5321	6.1837
	Aurora 3		2.2143	7.7467
Centro de Idiomas	Idiomas 1		2.4429	6.3397
	Idiomas 2		17.3393	15.6591
	Idiomas 3		2.8714	6.4929
Parque Reducto	Reducto 1		7.6250	9.1158
	Reducto 2	8.3179	8.1802	
	Reducto 3	7.5393	9.5807	
Centro Promotor	Promotor 1	5.2179	5.1195	
	Promotor 2	5.2929	5.6205	
	Promotor 3	4.0929	4.8218	
Huaca Pucllana	Huaca 1	3.9500	8.9274	
	Huaca 2	5.5786	7.3830	

	Huaca 3		4.2071	11.2116
--	---------	--	--------	---------

ANEXO 5. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO AURORA (A).



Método de Placas Receptoras (MPR):

Los valores perdidos en las muestras de febrero, diciembre y febrero 2017 fueron a causa de la presencia de la vaselina derretida en los bordes de la base de la caseta de monitoreo y en la otra cara de la placa de vidrio.

Los valores perdidos en marzo fueron causados por una persona ajena al estudio que pasó su dedo sobre las placas generando pérdida de concentración de PAS.

Debido a las garúas se presentaron filtraciones de agua hacia las placas a través del techo o por acción del viento. En el mes de mayo hubo un desorden de las concentraciones de PAS generando picos de casi 17 t/km<sup>2</sup>/mes, en el mes de julio presentó un pico de 10.8 t/km<sup>2</sup>/mes mientras que las otras dos repeticiones variaron entre 0.4 y 1.4 t/km<sup>2</sup>/mes, en el mes de agosto se perdieron dos muestras debido a pequeños charcos de agua en las placas de vidrio y por que una persona ajena al estudio que alteró las placas con sus dedos, en setiembre se presentó un pico de 15 t/km<sup>2</sup>/mes en comparación a las otras dos repeticiones que variaron entre 3.5 y 4.0 t/km<sup>2</sup>/mes.

En noviembre se encontraron dos repeticiones con huellas de patas de aves disminuyendo las concentraciones de PAS, asimismo, enero 2017 presentó las mismas características pero en las 3 repeticiones.

La presencia de insectos en las placas de vidrio se dio a lo largo del estudio.



Placa Receptora con agua.

Método de Bergerhoff (MB):

Se presentaron muestras con un ligero color verde y algunas veces con precipitado de color verde, esto debido a la presencia de heces de aves (materia orgánica) y la presencia de insectos se dio a lo largo del estudio.



Muestra con precipitado verde.

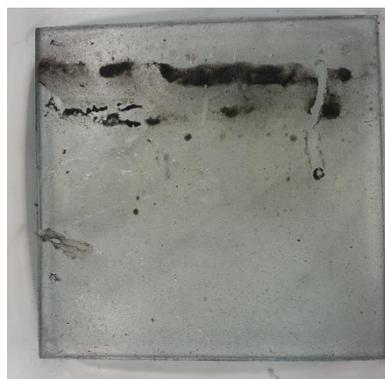
ANEXO 6. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO CENTRO DE  
IDIOMAS (CI).



Método de Placas Receptoras (MPR):

Durante los meses de febrero, marzo y noviembre se encontró cierta cantidad de vaselina derretida alrededor de las placas de vidrio. En el mes de setiembre, CI 1 y 2 presentaron una concentración mayor a las concentraciones de Bergerhoff (CI 1 y 2) pero no se pudo determinar a qué se debió este suceso pero no se descarta que haya sido por error humano.

En el mes de febrero 2017 el techo de la caseta de monitoreo de CI 2 cedió, dejando un lado de la placa de vidrio descubierta al sol; lo cual causó una mancha negra en ese lado y un pedazo de silicona también cayó en la placa de vidrio.



Placa de vidrio de CI 2 de febrero 2017.

Método de Bergerhoff (MB):

Las muestras presentaron insectos en junio, agosto, noviembre, diciembre, enero 2017.

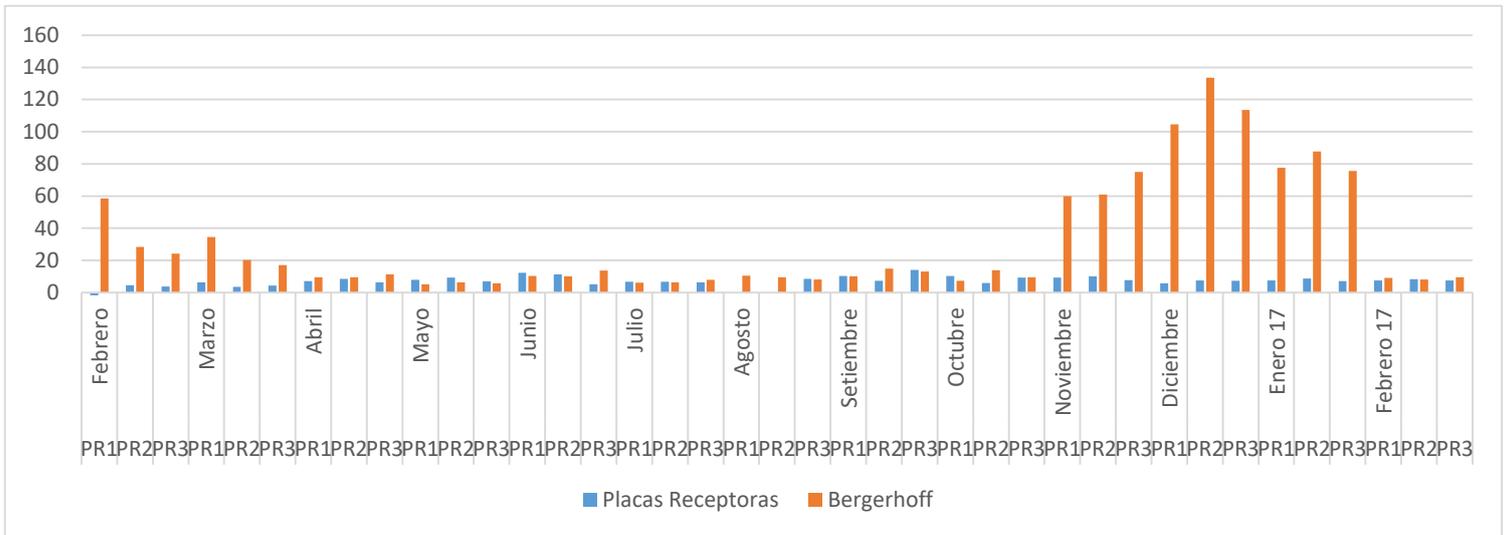
En setiembre, CI 3 presentó coloración ligera verde la cual es ocasionada por la presencia de materia orgánica (heces de aves). Y en febrero 2017, las tres muestras presentaron coloración verdosa debido a la presencia de materia orgánica (heces de aves) siendo CI 2 la que presentó una coloración más densa.



Coloración verdosa de CI 2 de febrero 2017.

ANEXO 7. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO PARQUE

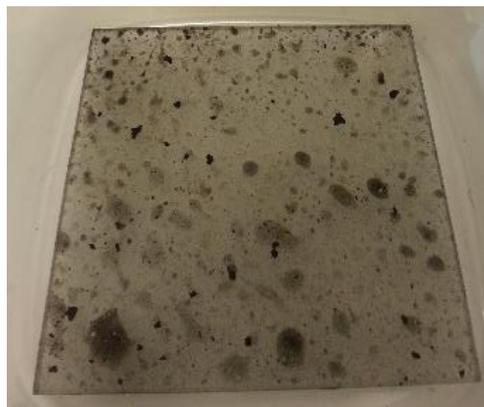
REDUCTO (PR).



Método de Placas Receptoras (MPR):

En febrero la muestra PR1 presentó valor negativo debido a error humano.

En setiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero 2017 y febrero 2017 presentaron huellas de gotas de agua, las cuales provenían del riego por aspersión que se da en el Parque Reducto.



Placa de vidrio con huellas de gotas de agua.

En el mes de agosto las muestras PR 1 y 2 fueron alteradas por actos de vandalismo. Se encontró el techo roto de la caseta de monitoreo de PR 2 y las placas de vidrio sobre el pasto.



Placa de vidrio de PR 1.



Placa de vidrio de PR 2.

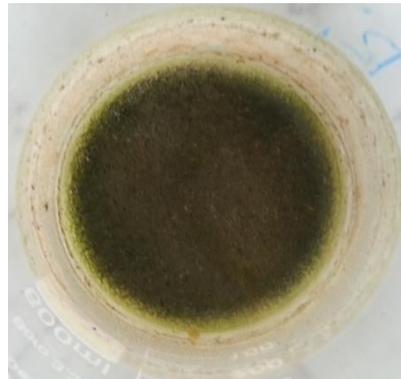


Caseta de monitoreo de PR 2.

A lo largo del estudio, hubo presencia de óxidos de las rejjas sobre las placas de vidrio la cual aumentaba el peso de estas, afectando la concentración de PAS. Además, la presencia de insectos fue constante.

Método de Bergerhoff (MB):

En febrero y marzo, las concentraciones del MB fueron muy altas debido a la presencia de despigmentación de hojas de los árboles, semillas, insectos y heces de aves. Luego, se reubicaron los instrumentos de medición tanto del MB y MPR hacia otro punto del Parque Reducto con menor cobertura de los árboles, logrando disminuir la contaminación de las muestras del MB.



Precipitado verde de PR por contaminación de materia orgánica.

ANEXO 8. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO BONILLA (B) Y CENTRO PROMOTOR (CP).



Método de Placas Receptoras (MPR):

En febrero, B1 se encontró la caseta de monitoreo de cabeza y la placa desaparecida. Luego, en el mes de marzo se presentó vaselina al borde y base de las placas de vidrio. Durante la estadía del MPR en Bonilla, las placas presentaron óxidos de la reja en donde estaban ubicados.

A mediados de setiembre, las muestras fueron reubicadas en el Centro Promotor. Siendo en este mes que se presenciaron plumas en las tres placas y en los demás meses, incluyendo setiembre, se observaron huellas de patas de aves.

Además, durante setiembre y octubre las concentraciones de PAS en el MPR fueron mayor que el del MB.

La causa principal de estos resultados es que el MPR y MB estaban ubicados en la superficie del techo de los baños del Centro Promotor, pero el polvo de la superficie del techo fue captado en mayor cantidad por el MPR debido que este método estaba sobre

la superficie del techo y tenían una roca al borde para que no se volteara la caseta por acción del viento en comparación al MB por la altura que presenta el recipiente de plástico.



Caseta de monitoreo con la roca.

Método de Bergerhoff (MB):

En Bonilla, los valores altos en el MB se debieron a los siguientes factores: El arrastre eólico del polvo desde el acantilado por la brisa marina, cerca al lugar de monitoreo se realizaban labores de tierra seca con abono la cual generaba bastante polvo, presencia de óxidos de la reja e insectos.

La presencia de óxidos dejaba un precipitado naranja tanto en los recipientes de plástico como en los beakers que se usaban en el laboratorio.

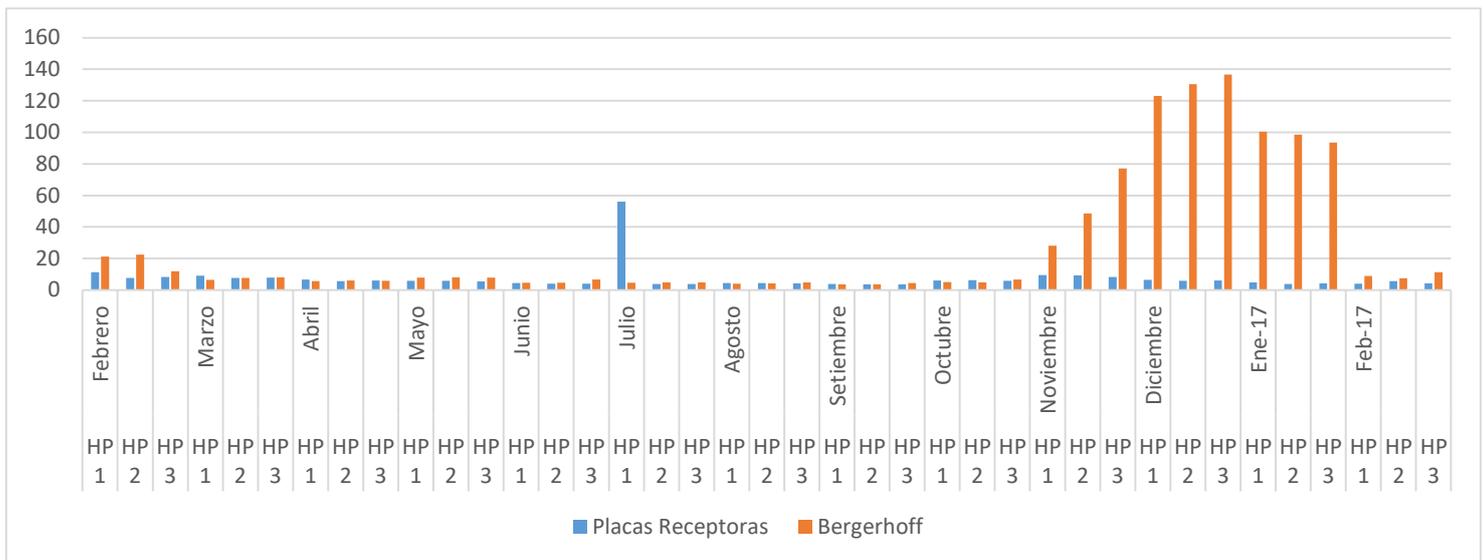


Beakers con presencia de precipitado naranja de la estación Bonilla.

El nivel del agua destilada en el Centro Promotor disminuía mucho más rápido en comparación a las demás estaciones de monitoreo en un periodo de una semana, incluso en meses fríos. Por lo tanto, se tuvo que ir cada 5 días a esa estación para mantener el nivel de agua destilada en los recipientes de plástico, para evitar alterar la captación del PAS.

ANEXO 9. DATOS ORIGINALES DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO HUACA

PUCLLANA (HP).



Método de Placas Receptoras (MPR):

A lo largo del estudio, HP 1 y HP 2 del MPR presentaron igual o mayor concentración de PAS que HP 1 y HP 2 del MB.

Esto es porque, HP 1 se encontraba cerca de una pared la cual permitía la resuspensión del PAS hacia este colector por acción eólica y HP 2 se encontraba al otro extremo recibiendo primero todo el aire cargado de PAS permitiendo una mayor captura de este contaminante en comparación a los demás colectores (ver tabla 2).

La muestra HP 1 del mes de julio, presentó una concentración muy elevada la cual fue ocasionada por error humano al momento de usar la balanza.

Cabe resaltar la presencia de insectos a lo largo del monitoreo en las placas de vidrio.

Método de Bergerhoff (MB):

El comportamiento de las concentraciones de PAS en el MB fue casi uniforme durante el año de monitoreo. Salvo por lo ya mencionado en la sección 5, durante los meses de noviembre a enero 17.

La presencia de insectos en este método fue durante todo el monitoreo, así como la presencia de materia orgánica.

ANEXO 10. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LOS DATOS ORIGINALES.

Periodo	Placas Receptoras (%)	Bergerhoff (%)	Nivel de confianza (%)
Anual	101.4776	126.5415	95
Febrero	124.7365	104.9519	95
Marzo	170.1797	98.6224	95
Abril	68.2366	176.1634	95
Mayo	55.4076	109.6124	95
Junio	57.6440	188.5306	95
Julio	157.2648	98.9661	95
Agosto	93.4013	160.5950	95
Setiembre	62.0649	61.8023	95
Octubre	37.4449	42.4015	95
Noviembre	41.4609	21.6557	95
Diciembre	150.9497	11.2101	95
Enero 17	111.5557	14.7915	95
Febrero 17	77.8269	34.2260	95

ANEXO 11. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE AURORA.

Periodo	Placas Receptoras (%)	Bergerhoff (%)	Nivel de confianza (%)
Anual	404.0363	145.6021	95
Febrero	355.3689	8.6230	95
Marzo	24.1752	4.5652	95
Abril	66.9462	14.9194	95
Mayo	90.0871	20.2769	95
Junio	12.1974	3.1124	95
Julio	136.9400	9.7180	95
Agosto	173.2051	9.3472	95
Setiembre	86.7635	0.6729	95
Octubre	2.9754	2.1448	95
Noviembre	70.0748	6.3228	95
Diciembre	138.4685	4.4943	95
Enero 17	128.5545	3.1510	95
Febrero 17	63.9356	19.9061	95

ANEXO 12. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE CENTRO DE IDIOMAS.

Periodo	Placas Receptoras (%)	Bergerhoff (%)	Nivel de confianza (%)
Anual	59.6014	150.2357	95
Febrero	14.1376	5.7581	95
Marzo	16.1296	14.3016	95
Abril	7.2074	6.0917	95
Mayo	7.2951	1.9848	95
Junio	12.7259	8.1540	95
Julio	8.6089	4.8777	95
Agosto	1.9315	33.2762	95
Setiembre	7.8797	17.7329	95
Octubre	5.7540	16.0050	95
Noviembre	13.0946	4.3426	95
Diciembre	8.5306	4.5856	95
Enero 17	17.2443	1.0269	95
Febrero 17	112.2929	56.1940	95

ANEXO 13. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE PARQUE REDUCTO.

Periodo	Placas Receptoras (%)	Bergerhoff (%)	Nivel de confianza (%)
Anual	45.8807	113.5402	95
Febrero	233.2468	50.3938	95
Marzo	31.6917	38.8230	95
Abril	15.9077	10.3297	95
Mayo	14.4368	9.4891	95
Junio	39.6392	18.0030	95
Julio	3.4009	14.6898	95
Agosto	173.2051	12.9654	95
Setiembre	31.7643	18.6878	95
Octubre	26.7508	31.8982	95
Noviembre	13.1521	12.9298	95
Diciembre	13.8663	12.6760	95
Enero 17	9.6593	8.0305	95
Febrero 17	5.4542	7.9617	95

ANEXO 14. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE MANUEL BONILLA – CENTRO

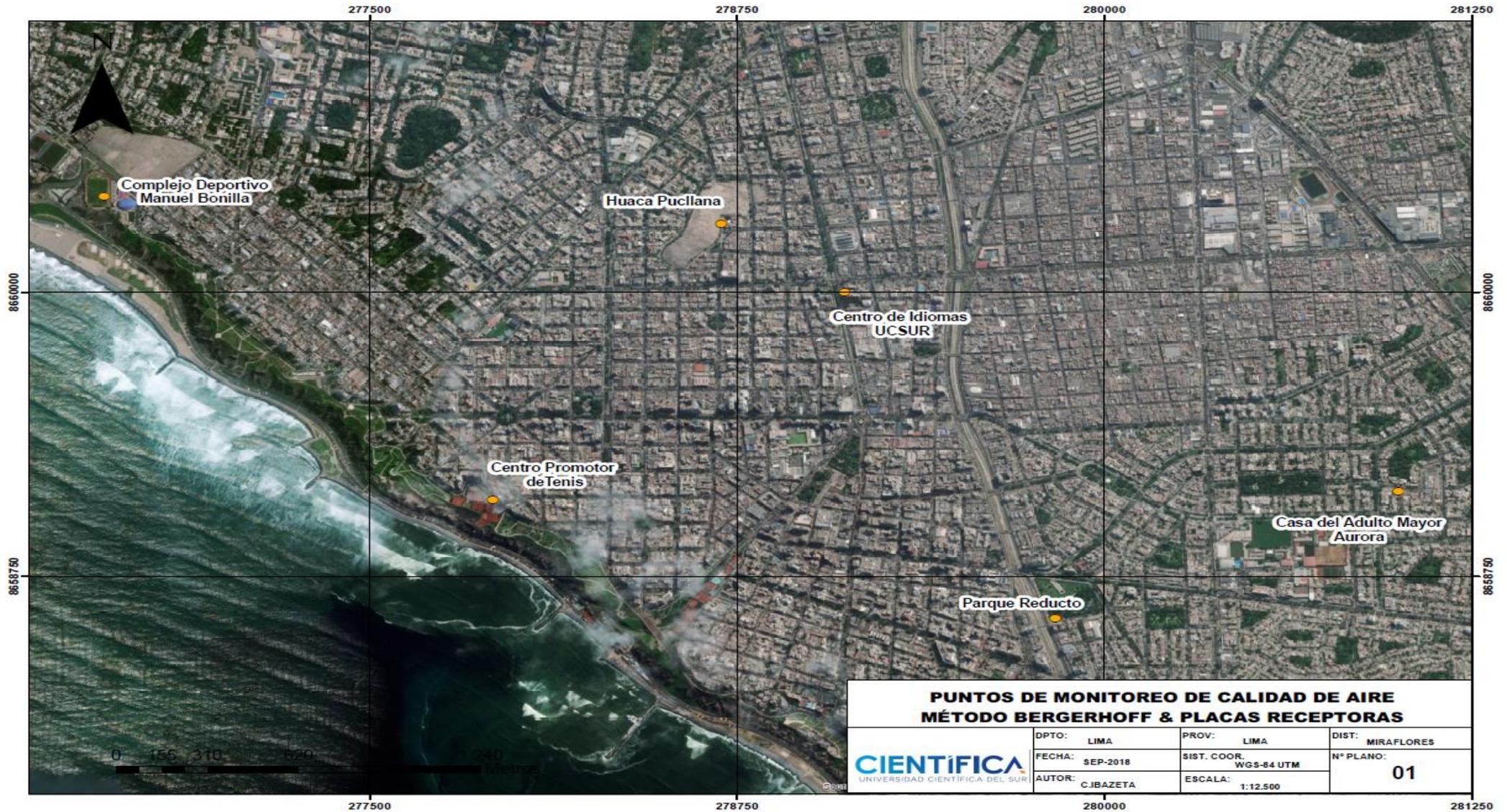
PROMOTOR.

Periodo	Placas Receptoras (%)	Bergerhoff (%)	Nivel de confianza (%)
Anual	42.9745	80.8753	95
Febrero	94.0285	21.7958	95
Marzo	6.7009	22.7684	95
Abril	15.2379	34.6017	95
Mayo	18.8031	10.9230	95
Junio	4.0032	65.8472	95
Julio	19.9316	23.1520	95
Agosto	22.9131	49.3378	95
Setiembre	9.9446	8.6289	95
Octubre	6.3324	2.1055	95
Noviembre	17.6772	4.1881	95
Diciembre	18.9109	4.3605	95
Enero 17	19.5925	9.5931	95
Febrero 17	13.8093	7.7816	95

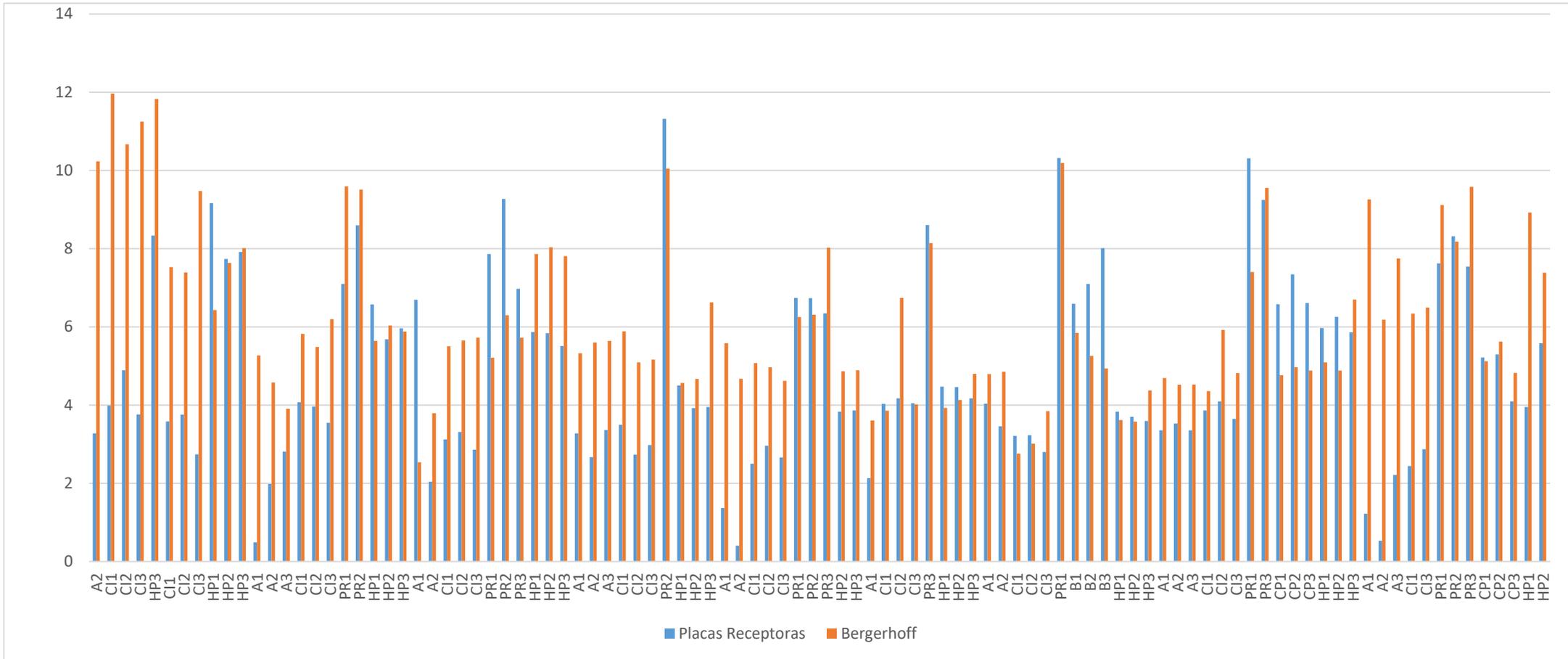
ANEXO 15. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE HUACA PUCLLANA.

Periodo	Placas Receptoras (%)	Bergerhoff (%)	Nivel de confianza (%)
Anual	116.0804	149.6291	95
Febrero	20.9337	31.3408	95
Marzo	9.3758	11.2346	95
Abril	7.4977	3.3906	95
Mayo	3.48	1.4976	95
Junio	7.9017	21.9555	95
Julio	141.8187	1.8522	95
Agosto	3.9032	10.6445	95
Setiembre	3.2412	11.7332	95
Octubre	3.3839	17.8628	95
Noviembre	7.7153	48.0414	95
Diciembre	4.4293	5.2537	95
Enero 17	11.0909	3.6925	95
Febrero 17	19.1221	20.9958	95

ANEXO 16. PUNTOS DE MONITOREO.



**ANEXO 17. CONCENTRACIONES (t/km2/mes) DE PAS VALIDADOS.**



ANEXO 18. CONCENTRACIONES (t/km<sup>2</sup>/mes) DE PAS VS LÍMITE DE LA OMS (5 t/km<sup>2</sup>/mes).

