

Niveles de dióxido de azufre (SO₂) en el aire de la ciudad de Tingo María comparando dos métodos modificados

Sulfur dioxide (SO₂) levels in the air of the city of Tingo Maria comparing two modified methods

Níveis de dióxido de enxofre (SO₂) no ar da cidade de Tingo Maria comparando dois métodos modificados

Inga Fernández Fresia¹, Beteta Alvarado, Víctor², Manuel E. Reátegui-Inga³

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar dos métodos modificados para determinar dióxido de azufre (SO₂). El muestreo fue ejecutado en cinco zonas representativas de la ciudad de Tingo María a través del tren de muestreo y tubos Palmes, los análisis se llevaron a cabo en los ambientes del Laboratorio del Centro de Investigación Biotecnológico de la Amazonia en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, del distrito de Rupa Rupa, departamento Huánuco. Los resultados indicaron que el método demostró ser lineal ($r^2 = 0.996$), preciso ($CV < 11\%$), sensible ($LD = 0.028\text{ ug}$ o 0.933 ug/m^3 y $LC = 0.93\text{ ug}$ o 3.100 ug/m^3) y robusto (valor $P > 0.05$). De acuerdo a los resultados del desempeño del método, se elaboró la propuesta del método FIF-19029417 para determinar SO₂ mediante espectrofotometría visible conforme a lo señalado en la NTP – ISO/IEC 1725 (2006). En la determinación de SO₂ se observó que, durante la evaluación, los niveles de SO₂ están muy por debajo del límite establecido por los ECAs y la guía OMS, finalmente las concentraciones obtenidas utilizando el captador pasivo frente al captador activo, proporcionaron excelentes correlaciones entre ambos métodos de muestreo ($r^2 \geq 0.90$).

Palabras claves: Espectrofotometría visible, métodos modificados, captador pasivo, captador activo, captador de gases.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate two modified methods to determine sulfur dioxide (SO₂). The sampling was carried out in five representative zones of the city of Tingo Maria through the sampling train and Palmes tubes, the analyses were carried out in the environments of the Laboratory of the Biotechnological Research Center of the Amazon at the National Agrarian University of the Jungle, in the District of Rupa Rupa, Department of Huanuco. The results indicate that the method proved to be linear ($r^2 = 0.996$), accurate ($CV < 11\%$), sensitive ($LOD = 0.028\text{ ug}$ or 0.933 ug/m^3 and $LC = 0.93\text{ ug}$ or 3.100 ug/m^3) and robust ($P\text{-value} > 0.05$). According to the results of the method performance, the proposal of method FIF-19029417 was elaborated to determine SO₂ by visible spectrophotometry according to NTP - ISO/IEC 1725 (2006). In the determination of SO₂ it was observed that, during the evaluation, SO₂ levels are well below the limit established by the RCTs and the WHO guide, finally the concentrations obtained using the passive sampler versus the active sampler, provided excellent correlations between both sampling methods ($r^2 \geq 0.90$).

Keywords: Visible spectrophotometry, modified methods, passive capturer, active capturer, gas capturer.

¹ Municipalidad Provincial de Ambo, Perú; correo: fresia_1900@hotmail.com

² Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú; correo: victor.beteta@unas.edu.pe

³ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central "Juan Santos Atahualpa", Chanchamayo, Perú; correo: mreategui@uniscjsa.edu.pe

RESUMO

O objetivo desta pesquisa era avaliar dois métodos modificados para determinar o dióxido de enxofre (SO₂). A amostragem foi realizada em cinco zonas representativas da cidade de Tingo Maria por meio do trem de amostragem e tubos de Palmes, as análises foram realizadas no laboratório do Centro de Investigación Biotecnológica da Amazônia da Universidade Nacional Agrária de Selva, no Distrito de Rupa Rupa, Departamento de Huanuco. Os resultados indicam que o método provou ser linear ($r^2 = 0.996$), preciso ($CV < 11\%$), sensível ($LOD = 0.028$ ug ou 0.933 ug/m³ e $LC = 0.93$ ug ou 3.100 ug/m³) e robusto ($P\text{-valor} > 0.05$). Com base nos resultados do desempenho do método, a proposta do método FIF-19029417 foi desenvolvida para determinar SO₂ por espectrofotometria visível de acordo com o NTP - ISO/IEC 1725 (2006). Na determinação do SO₂ observou-se que, durante a avaliação, os níveis de SO₂ estão bem abaixo do limite estabelecido pelo RCT e pelas diretrizes da OMS, finalmente as concentrações obtidas utilizando o amostrador passivo versus o amostrador ativo, proporcionaram excelentes correlações entre ambos os métodos de amostragem ($r^2 \geq 0.90$).

Palavras-chave: Espectrofotometria visível, métodos modificados, amostrador passivo, amostrador ativo, amostrador de gás.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, según el DIGESA (2009) entre los años 2006 y 2009, calcularon los promedios anuales de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno; los resultados indican que todos los promedios anuales obtenidos durante dichos años, superaron el lineamiento anual de la OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Asimismo, el promedio anual de las concentraciones de dióxido de nitrógeno obtenidos desde 2006 a 2009, superaron el lineamiento anual de la OMS de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Cabrera et al. (2010) mencionan que la calidad del aire mediante el uso de gas natural en Lima y Callao determinó que el parque automotor de Lima es de 720.000 vehículos de pasajeros con 15 años de antigüedad, causando la contaminación atmosférica en partículas en suspensión, polvos, dióxido de azufre, plomo. Asimismo, indica que el índice de calidad ambiental y calidad de vida, mediante la evaluación de indicadores y matrices cuadráticas; partículas menores a 10 micras (PM10), SO_2 , plomo en PM10, sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Quispe et al. (2014) en sus resultados de análisis de calidad del aire en la ciudad de Tingo María, en el cual determinaron que los niveles de SO_2 se encuentran por debajo del estándar de calidad ambiental. Asimismo, la determinación de los niveles de contaminación atmosférica mediante el uso de líquenes como bioindicadores en diferentes zonas de monitoreo, Av. Raymondi, Av. Alameda Perú, Av. Ucayali, Av. Amazonas y Jr. Huánuco presentaron niveles de contaminación atmosférica moderada; mientras que para el Jr. Huánuco el nivel de contaminación atmosférica fue baja.

Galan et al. (2001) en su estudio realizado en la

comunidad de Madrid mediante la comparación de un captador activo (tren de muestreo) frente a un captador pasivo (tubo Palmes), obtuvieron una recta de correlación con un coeficiente de determinación de 0.94. Bernard et al. (2005) en su estudio realizado en Montpellier (Francia) con captadores pasivos y activos basados en el mismo principio químico obtuvieron una recta de correlación con un coeficiente de determinación de 0.90. Varios métodos de análisis de material se basan en hacer reaccionar la sustancia problema con otras sustancias (reactivos) para producir una solución coloreada, de tal forma que la intensidad del color pueda ser usada como medida de la concentración de dicha sustancia (Quesada, 2007).

Asimismo, para realizar un análisis espectrofotométrico, es necesario conocer el espectro de absorción o barrido espectral de la muestra que se quiere determinar. La misma que mediante una representación gráfica permite visualizar el valor de longitud de onda al que el compuesto presenta mayor absorbancia (λ_{max}), y así obtener una mejor sensibilidad en su cuantificación (Hernandez y Gonzales, 2002).

Las pruebas de desempeño son los criterios cuantitativos que se utilizan para decidir si un método es adecuado o no para resolver un determinado problema analítico. Las pruebas de desempeño son la materialización o expresión numérica de características o indicadores de calidad de los métodos tales como la linealidad, precisión, veracidad, sensibilidad y robustez (Sierra et al., 2010).

Con base en lo mencionado, el objetivo de este estudio fue evaluar dos métodos modificados para determinar dióxido de azufre (SO_2).

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de investigación

El presente trabajo de investigación se desarrolló en cinco zonas representativas de la ciudad de Tingo María, los análisis se llevaron a cabo en los ambientes del Laboratorio del Centro de Investigación Biotecnológico de la Amazonia, Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la Provincia de Leoncio Prado, Distrito de Rupa Rupa, Departamento Huánuco, con una altitud de 660 m.s.n.m, en coordenadas geográficas 9° 17' 55.77" latitud sur y 76° 0' 2.14" longitud oeste.

Diseño y variables de la investigación

La presente investigación se basó en un diseño experimental comparativo, utilizándose el método de muestreo pasivo (tubo palmas) y activo (tren de muestreo) modificados en base a las normas ATM-E-ED-07 (Tcaptación = 15 días, Solución impregnante = Trietanolamina, N° filtros = 2 y λ = 540 nm) y EPA 40 CRF Part 50 Appendix A (Tcaptación = 24 horas, Flujocaptación = 0.2 L/min, Volsolución captadora = 50 mL y λ = 540 nm).

Variables: Variable dependiente = Concentración de SO₂

Variable independiente = Métodos modificados

Evaluación del desempeño de los métodos

Las actividades para evaluar el desempeño del

método activo y pasivo modificados de las normas EPA 40 CRF Part 50 Appendix A y ATM-E-ED-07 fueron realizadas en el laboratorio CIDBAM y Microbiología mediante las pruebas de desempeño establecidas por la NTP – ISO/IEC 17025 (2006): Determinación de la longitud de onda óptima, determinación de la linealidad, determinación de la precisión, determinación de la veracidad, determinación de la sensibilidad, determinación de la robustez.

Proposición de los métodos modificados

En esta actividad se realizó la propuesta del método activo y pasivo modificado para determinar SO₂ en el aire de acuerdo a las pruebas de desempeño obtenidas en la cual para el método activo se modificó el tiempo de muestreo, flujo de captación, volumen de solución captadora y longitud de onda y para el método pasivo se modificó el tiempo de muestreo, solución impregnadora, número de filtros y longitud de onda.

Determinación del grado de correlación

Para la determinación del grado de correlación de los métodos modificados se determinó en primera instancia las zonas de estudio para el SO₂, la cual fue considerada en función a la población (< 1 millón), según menciona la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006), al cual se añadió una zona de estudio adicional (Tabla 1).

Tabla 1. Recomendaciones de número mínimo de estaciones

Población urbana (millones)	Parámetros controlados					
	PM - 10	SO ₂	NOX	Oxidantes	CO	Meteorológicos
Menos de 1	2	4	1	1	1	1
1 - 4	5	5	2	2	2	2
4 - 8	8	8	4	3	4	2
Más de 8	10	10	5	4	5	3

Fuente: OMS (2006); Temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento

Las cinco zonas de estudio se ubicaron en lugares representativos, considerando el flujo de aire, tráfico

vehicular de una escala alta a una baja, fácil acceso y seguridad contra el vandalismo (Tabla 2).

Tabla 2. Zonas seleccionadas para el estudio

N°	Zonas de estudio
1	Tabladillo (UNAS)
2	AV. Universitaria km. 1.5
3	Av. Amazonas
4	Av. Alameda Perú
5	Av. Raymondi

Para determinar el SO₂ mediante el muestreo pasivo y activo, se prepararon soluciones, se expusieron y analizaron las muestras recolectadas de cada zona de estudio evaluadas por cinco meses. Finalmente se comparó los resultados obtenidos por el método

activo (tren de muestreo) y pasivo (tubo Palmes) de las cinco zonas de muestreo mediante el coeficiente de correlación (r) y determinación (r²) obtenidos del análisis de regresión.

RESULTADOS

Figura 1, muestra una correlación fuerte entre la absorbancia y la concentración de SO₂, mostrando una tendencia lineal con la ecuación Abs. corregida

= 0.02838 concentración SO₂ + 0.002386 y un valor de r² de 0.996.

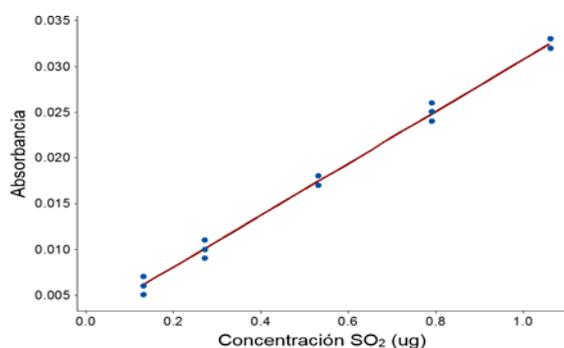


Figura 1. Absorbancia de muestras patrones por efecto de niveles de concentración de SO₂

Tabla 3, presenta coeficientes de variación en los tres niveles de concentración inferiores a 6 % y los intervalos de confianza de cada nivel de

concentración, indicando que el método aplicado es preciso y posee repetibilidad.

Tabla 3. Análisis de repetibilidad

N°	Concentración promedio SO ₂ (ug) ± SD	Coeficiente de variación (%)	Intervalos de confianza al 95 % para la Concentración	
			Límite inferior	Límite superior
1	0.125 ± 0.007	5.9	0.122	0.1311
2	0.528 ± 0.008	1.5	0.526	0.531
3	1.059 ± 0.003	0.3	1.057	1.062

SD = desviación estándar

Del análisis de homogeneidad de medias y varianzas entre analistas para los tres niveles de concentración (0.13, 0.53 y 1.06 ug SO₂), se determinó que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias y varianzas de ambos analistas, lo cual indica que las medias y varianzas son

estadísticamente iguales para cada nivel estudiado. Tabla 4, presenta coeficientes de variación en los cinco niveles de concentración inferiores a 9 % y los intervalos de confianza de cada nivel de concentración estudiado, indicando que el método aplicado es preciso y posee reproducibilidad.

Tabla 4. Análisis de reproducibilidad

Nº	Concentración SO ₂ (ug)	Absorbancia promedio ± S	Coeficiente de variación (%)	Intervalos de confianza al 95 % para la Absorbancia	
				LI	LS
1	0.13	0.0048 ± 0.0004	8.4	0.0045	0.0051
2	0.27	0.0097 ± 0.0005	5.3	0.0093	0.0099
3	0.53	0.0177 ± 0.0005	2.9	0.0173	0.0179
4	0.79	0.0253 ± 0.0005	2.0	0.025	0.0256
5	1.06	0.0323 ± 0.0005	1.6	0.0320	0.0326

SD = Desviación estándar, LI = Límite inferior, LS = Límite superior

Del análisis de homogeneidad de medias entre el valor verdadero y el valor promedio de cada uno de los tres niveles de concentración, se determinó que las medias de SO₂ son estadísticamente iguales a los valores convencionalmente verdaderos de 0.13, 0.53

y 1.06 ug de SO₂. En la tabla 5, se observa los resultados de las concentraciones de SO₂ expresados promedios de cada concentración y desviación estándar.

Tabla 5. Análisis de sensibilidad

Abs	Concentración (ug)	Abs	Concentración (ug)	Abs	Concentración (ug)
0.002	0.063	0.002	0.063	0.002	0.063
0.002	0.063	0.001	0.028	0.002	0.063
0.002	0.063	0.002	0.063	0.002	0.063
0.002	0.063	0.002	0.063	0.002	0.063
0.002	0.063	0.002	0.063	0.003	0.099
0.001	0.028	0.002	0.063	0.002	0.063
0.002	0.063	0.002	0.063	0.002	0.063
X	0.058	X	0.058	X	0.068
SD	0.0010	S	0.010	S	0.008

Abs = absorbancia, X = Promedio, SD = desviación estándar

Del análisis de homogeneidad de medias entre el T1 y T2 para las cinco zonas de estudio, se determinó que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de T1 y T2, por lo que la longitud de onda, volumen de solución captadora, tiempo y flujo de captación no son influyentes en la determinación de SO₂ y por ende el método es

robusto para los factores indicados en la toma de muestra por tren de muestreo en las cinco zonas de estudio. El grado de correlación entre el método modificado de muestreo pasivo y activo se determinó las concentraciones promedio mensuales de SO₂ para cada mes evaluado (Tabla 6).

Figura 2, muestra la distribución de los promedios mensuales de los niveles de SO₂ en las zonas de estudio mediante el método activo y pasivo

encontrándose muy por debajo del límite establecido por los ECAs de 80 ug/m³ y la guía OMS anual de 20 ug/m³.

Tabla 6. Concentraciones de SO₂ por muestreo activo y pasivo

Zonas de monitoreo	Concentración de SO ₂ (ug/m ³)									
	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo	
	Tren	Tubos	Tren	Tubos	Tren	Tubos	Tren	Tubos	Tren	Tubos
Tabladillo (UNAS)	4.09	3.82	3.62	3.15	3.74	3.48	4.36	4.14	4.74	4.54
Av. Universitaria km. 1.5	5.95	5.86	6.69	6.22	6.62	6.55	6.17	5.83	6.75	6.25
Av. Amazonas	7.34	7.22	6.95	6.90	7.98	7.91	8.95	8.20	7.96	7.97
Av. Alameda Perú	7.71	6.88	7.31	6.90	7.66	7.57	8.53	7.86	8.85	8.31
Av. Raymondi	8.84	8.24	8.00	7.92	8.90	8.59	9.83	9.55	10.17	10.03

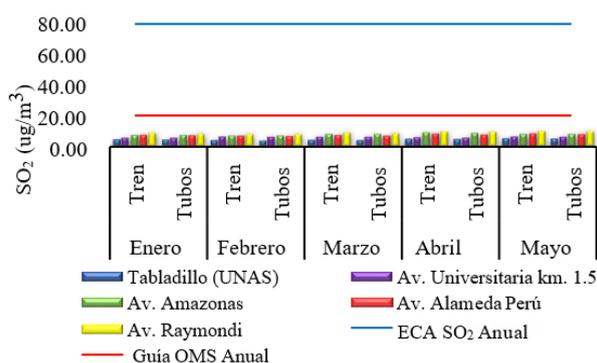


Figura 2. Distribución de niveles de SO₂ en las zonas de monitoreo

DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación del desempeño de los métodos, se determinó que la longitud de onda óptima se obtuvo en 547 nm con niveles máximos de concentración del analito en estudio, este valor tal como menciona Hernandez y Gonzales (2002), indica que el valor de longitud de onda al que el compuesto obtiene una mayor absorbancia presenta una mejor sensibilidad en su cuantificación. Para la linealidad el coeficiente de correlación del método fue de 0.998, indicando la

existencia de una correlación positiva casi perfecta, referente a esto Gutierrez y de la Vara (2008) señala que al ser esta cercana a 1, no existe variabilidad significativa entre las variables. Por tanto, la curva de calibración realizada entre la absorbancia como variable dependiente y la concentración de SO₂ como variable independiente, resultó ser lineal en el intervalo de concentraciones comprendidas entre 0.13 y 1.06 ug.

En cuanto a la precisión del método se evaluó por medio de la repetibilidad, precisión intermedia y reproducibilidad las cuales presentaron coeficientes de variación en cada grupo de datos para la repetibilidad y reproducibilidad inferiores al 11 % mostrando que el método cumple con lo establecido por la AOAC (2001); por otro lado, la precisión intermedia obtuvo grupos homogéneos en sus medias y varianzas obtenidas por distintos analistas tal como lo menciona Boque et al. (2002) para el cumplimiento de la misma. En la determinación de la veracidad mediante la prueba T de una muestra, se obtuvo en los tres niveles de concentración valor $P > 0.05$ lo que indica que no hay diferencias significativas en las medias existiendo de esta manera una homogeneidad con el valor convencionalmente verdadero tal como lo señala Bennett et al. (2011). Los resultados de límite de detección y cuantificación nos indican que el método para determinar SO_2 es capaz de cuantificar de manera confiable cantidades mínimas ($\text{LD} = .028 \text{ ug}$ ó 0.933 ug/m^3 y $\text{LC} = .093 \text{ ug}$ ó 3.100 ug/m^3) de este compuesto tal como lo describe Iupac (2002).

En cuanto a la determinación de la robustez del método los factores evaluados para el tren de muestreo fueron longitud de onda, volumen de solución captadora, flujo de aire y tiempo de captación y para los tubos Palmes fueron longitud de onda, soluciones de impregnación, tiempo de exposición y número de filtros, presentando en sus análisis de prueba T de dos muestra valor $P > 0.05$, indicando de tal forma que dichas variables no son influyentes en la determinación de SO_2 , y por ende los métodos son robustos, en referencia a lo señalado Aefi (2001) menciona que mientras más resistente es el método ante el cambio de respuesta cuando se introducen pequeñas variaciones, nos proporciona

una indicación de su confiabilidad durante su normal uso. El SO_2 , se encontró que los mayores niveles de SO_2 se presentaron en la zona céntrica de la ciudad de Tingo María (Av. Raymondi, Av. Alameda Perú y Av. Amazonas), al respecto OMS (2006) señala que este incremento está asociado durante la quema de combustibles fósiles de baja calidad provenientes de la actividad vehicular y actividades comerciales (restaurants, panaderías y carpinterías). Por otro lado las zonas de estudio ubicadas en el extremo sur (Av. Universitaria y tabladillo) reportaron menores concentraciones de SO_2 caracterizándose por una menor actividad vehicular y comercial en comparación con las actividades que se presentan en el centro de la ciudad, asimismo los resultados del estudio de la calidad del aire en Lima y Callao determinó que el parque automotor es la principal fuente de contaminación atmosférica en dióxido de azufre tal como lo señala Cabrera et al. (2010). Además, Quispe et al. (2014) menciona en su análisis de calidad del aire en la ciudad de Tingo María, que los niveles de SO_2 se encuentran por debajo del estándar de calidad ambiental, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio. Por otro lado señala que la determinación de los niveles de contaminación atmosférica mediante el uso de líquenes como bioindicadores para la Av, Raimondi, Av. Alameda Perú y Av. Amazonas presentó niveles de contaminación atmosférica moderada debido a la presencia de mayor flujo vehicular, al respecto DIGESA (2009) en su estudio sobre la calidad del aire del Perú realizado en el año 2006 al 2009, señala que los promedios anuales de dióxido de azufre superaron el lineamiento anual del estándar de calidad ambiental y la OMS.

También se observa que en las zonas de estudio los niveles de SO₂ medidos con el método pasivo (tubo almes) siguen las mismas tendencias que los valores registrados con el método activo descritos por Galan et al. (2001) en su estudio realizado en la comunidad de Madrid, con las mismas metodologías de muestreo, obtuvieron una recta de correlación con un coeficiente de determinación de 0.94, indicando una excelente correlación entre el captador pasivo y captador activo.

CONCLUSIONES

El método propuesto FIF-19029417 para determinar SO₂ en el aire por espectrofotometría visible a una longitud de onda de 547 nm, obtuvo un desempeño lineal, preciso, veraz, sensible y robusto. En ese sentido se presenta la propuesta del protocolo de un método de ensayo modificado, según el desempeño evaluado para cada método, la cual permitió determinar SO₂ en el aire. Los valores de SO₂ obtenidos por ambos métodos presentaron excelentes correlaciones ($r^2 > 0.90$); asimismo los métodos de muestreo pasivo y activo presentaron niveles promedios mensuales de SO₂ muy por debajo del límite establecido por los ECAs y la guía OMS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aefi. 2001. Validación de métodos analíticos y control de calidad. p. 22 – 25.
- Aoac. 2001. Procedimientos de estudio para la validación de métodos químicos oficiales. 10 ed. p. 40 – 41.
- ATM-E-ED-07. 2011. Evaluación de las emisiones difusas mediante la utilización de captadores pasivos. 19 p.
- Bennett, F., Briggs, W., Triola, M. 2011. Razonamiento estadístico. México, D.F. p. 4 – 6.
- Bernard, N., Gerber, M., Astre, C. 2005. Medición de SO₂ con muestreadores pasivos y activos: validación y uso para la evaluación de la contaminación por SO₂ en Montpellier, Francia. *Environmental Science y Technology*, 33(2): 217 - 22
- Boque, R., Maroto, A., Rius, F. 2002. Validación de métodos analíticos: Grasas y aceites. p. 128 – 143.
- Cabrera, C., Maldonado, M., Arévalo, W., Pacheco, R. 2010. Calidad del aire mediante el uso de gas natural en Lima y Callao. [En línea]: CALIDDA, (www.calidda.com.pe/documentos/aire.pdf, documentos, 05 de febrero del 2017).
- DIGESA, D. 2009. Estudio de la calidad del aire de la ciudad de Lima Metropolitana. [En línea]: DIGESA, (www.digesa.sld.pe/aire/pdf/ecal2009.pdf, documentos, 04 de febrero del 2017).
- EPA, E. 2010. Determination of mass concentration of sulfur dioxide in the atmosphere: Method Pararosaniline. 32 p.
- Galan, D., Fernandez, R., Diaz., E. 2001. Estudio de las concentraciones superficiales de NO₂, SO₂ y O₃ en la atmosfera de la comunidad de Madrid mediante muestreadores pasivos y activos. *Revista de salud ambiental*, 1(1): 20 – 29.
- Gutierrez, H., de la Vara, R. 2008. Análisis y diseño de experimentos. México, D.F. Mac Graw Hill. p. 120.

- Hernandez, L., Gonzales, C. 2002. Introducción al análisis instrumental. Barcelona, España. 45 p.
- IUPAC. 2002. Nomenclature in evaluation of analytical methods including detection and quantification capabilities. Gran Bretaña. p. 79 – 83.
- Mosquera, D. 2012. Estandarización de un método para la cuantificación de pesticidas organoclorados y organofosforados en suelos por cromatografía de gases detectores. Tesis Ing. Biotecnología. Pereira, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira. 79 p.
- NTP – ISO/IEC 1725. 2006. Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración.
- OMS. 2006. Guías de la calidad del Aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Ginebra, Suiza. 86 p.
- Quesada, S. 2007. Manual de experimentos de laboratorio para bioquímica, en espectrofotometría. Costa rica. 9 p.
- Quispe, K., Ñique, M., Chuquillin, E. 2014. Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú. *RevIA*, 3(2): 99 – 104.
- Sierra, I., Perez, D., Morante, S. 2010. Análisis instrumental: parámetros de desempeño de un método. España. 20 p.