

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN QUÍMICA DEL MEDIO AMBIENTE**



**“CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE DISPOSITIVOS PARA EL MONITOREO PASIVO DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO ( NO<sub>2</sub>) Y DIÓXIDO DE AZUFRE ( SO<sub>2</sub>) EN LA CIUDAD DE AREQUIPA - PERÚ”.**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER:**

**CLAUDIA MABEL CALISAYA CARPIO**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAGÍSTER EN QUÍMICA DEL MEDIO AMBIENTE**

**AREQUIPA – PERÚ**

**2012**

*Dedicada a mis padres y hermanos por su infinito cariño.*

*Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación  
Tecnológica.*

*Y a todas las personas a quienes les apasiona la investigación.*

*Para tener éxito en abrir puertas que encubren los secretos de la naturaleza, una persona debe poseer ingeniosidad. Si no tiene la llave para la cerradura, no debe titubear y usar una ganzúa, o introducirse por una ventana, o aun destrozar un panel. Si tiene éxito, es más bien por ingenio que por “método científico”.*

*Joel H. Hildebrand*

## ÍNDICE

	<b>PGS.</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b>	
1.1. CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVOS DE DIFUSIÓN PASIVA TIPO TUBO Y CONTENEDOR	
1.1.1. Construcción de dispositivos de difusión pasiva tipo tubo .....	13
1.1.2. Construcción del contenedor .....	18
1.2. DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO	
1.2.1. Validación del método.....	20
1.2.2. Preparación de dispositivos .....	30
1.2.3. Exposición y recolección de muestras.....	32
1.2.4. Análisis de muestras .....	33
1.3. DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE	
1.3.1. Valoración de tiosulfato de sodio (Método potenciométrico).....	59
1.3.2. Determinación de concentración másica de dióxido de azufre .....	66
1.3.3. Validación del método.....	70
1.3.4. Preparación de dispositivos .....	78
1.3.5. Exposición y recolección de muestras.....	80
1.3.6. Análisis de muestras .....	80

**CAPÍTULO 2. DISCUSIÓN SOBRE LA PRESENCIA DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO Y DIÓXIDO DE AZUFRE EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**

**CAPÍTULO 3. ANÁLISIS ECONÓMICO**

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>94</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>95</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>101</b>

## RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo de investigación fue construir dispositivos de difusión pasiva tipo tubo, para el monitoreo de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre en distintas zonas de la ciudad de Arequipa. Para la construcción del dispositivo que sirvió para la determinación de dióxido de nitrógeno, se consideró las dimensiones establecidas por el Laboratorio analítico para el medio ambiente (Männedorf SUIZA, cuya empresa representante en el Perú es Klepel Consulting S.A.C.). Por otro lado, para el caso de los dispositivos para el monitoreo de dióxido de azufre se utilizó como diseño modelo a los empleados por la empresa Deuman S.A.C. Una vez vistas las dimensiones, se utilizó para la construcción de los nuevos diseños un tubo de tereftalato de polietileno (PET) (el cual es comercializado como vacutainer). El material de la tapa (tapón), que sirvió para ser removida antes y después del muestreo, fue de goma y el material de la tapa superior (la cual fue hecha de tal manera que cerrara a presión para que el material impregnado con la solución adsorbente quede fijo) fue de PVC (cloruro de polivinilo) de color blanco.

Para el caso de la determinación de dióxido de nitrógeno, se pudo realizar un análisis estadístico (aplicando el contraste  $F$  para la comparación de desviaciones estándar y luego el contraste  $t$ ) de las concentraciones (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenidas utilizando los dispositivos construidos frente a los distribuidos comercialmente; pero dicha comparación no se realizó con los dispositivos construidos para la determinación de dióxido de azufre. Luego, el número de zonas monitoreadas fue de 10; por un periodo de 6 meses.

Para la determinación de las concentraciones de este último (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), previamente se ejecutó ensayos relacionados a la solución de impregnación y el número de discos de papel filtro a usar y con ello se pudo realizar el monitoreo de dicho gas por un periodo de dos meses y de tres zonas.

Antes de realizar las determinaciones de concentración para ambos contaminantes, se hizo la validación de las metodologías; para las cuales se aplicó espectrofotometría. Las metodologías aplicadas demostraron poseer linealidad, precisión y sensibilidad (LD = 0.159 nanomoles de  $\text{NO}_2$  en 4 mL de reactivo colorimétrico; LC = 1.305 nanomoles de  $\text{NO}_2$  en 4 mL de reactivo colorimétrico para el caso de la determinación de dióxido de nitrógeno y LD = 0.009  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ; LC = 0.012  $\mu\text{g}/\text{mL}$  para la evaluación de concentración de dióxido de azufre).

Por el análisis estadístico aplicado, en el monitoreo de dióxido de nitrógeno (para los meses de Enero y Febrero del 2012) no hubo diferencia estadística significativa (a un nivel de confianza del 95%), de las concentraciones obtenidas por dispositivos contruidos frente a los distribuidos comercialmente.

Finalmente, un análisis de aproximación de costos demostró que los dispositivos junto con el contenedor contruidos son de menor precio frente a los distribuidos comercialmente al Perú.

*Palabras clave: dispositivos de difusión pasiva, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre.*

## ABSTRACT

The main goal of this research was to build passive diffusion tube devices for monitoring nitrogen dioxide and sulfur dioxide in different zones of Arequipa's city. To build the device that was used for the determination of nitrogen dioxide, it was considered the dimensions set by the Laboratory for the Environment (Männedorf Switzerland, whose company representative in Peru is Klepel Consulting S.A.C.). On the other hand, in the case of devices for monitoring the sulfur dioxide it was used as a model the design employed by the Deuman S.A.C. company. After reviewing the dimensions, it was used for the construction of the new designs a tube of polyethylene terephthalate (PET) (which is marketed as vacutainer). The material of the cover (cap), which served to be removed before and after sampling, was made of rubber and the material of the upper cover (which was made so that pressure close to the material impregnated with the solution locks adsorbent) was white PVC (polyvinyl chloride).

In the case of nitrogen dioxide determination, it could be performed an statistical analysis (using the  $F$  contrast for comparison of standard deviations, and then the  $t$  contrast) of the concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtained by using built devices against the distributed commercially, but the comparison is not performed with built devices for the determination of sulfur dioxide. Then, the number of monitored areas was 10, for a period of 6 months.

For determination of concentrations of the afore mentioned ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), previously ran tests related to the impregnation solution and the number of filter paper discs used were realized, and thus it could be performed to monitor the gas for a period of two months and three zones.

Before making both pollutants concentration determinations, methodologies were validated, by applying spectrophotometry. The methodologies demonstrated linearity, precision and sensitivity (LD = 0.159 nmol of NO<sub>2</sub> in 4 mL of colorimetric reagent, LQ = 1.305 nmol of NO<sub>2</sub> in 4 mL of colorimetric reagent for the case of the determination of nitrogen dioxide and LD = 0.009 µg/mL; LQ = 0.012 µg/mL for sulfur dioxide concentration evaluation).

For the statistical analysis applied in monitoring nitrogen dioxide (for the months of January and February 2012) there was no statistically significant difference (at a confidence level of 95%) of concentrations obtained from built devices against the commercially distributed.

Finally, an analysis cost approach, demonstrated that devices built with the container are lower priced compared to commercially distributed to Peru.

*Keywords: passive diffusion devices, nitrogen dioxide, sulfur dioxide.*

## INTRODUCCIÓN

Según el Análisis de la Situación de la Salud (ASIS 2002) de la oficina de Epidemiología de la Dirección de Salud de Arequipa, las enfermedades del sistema respiratorio ocupan el primer lugar dentro del perfil de morbilidad de la región; donde más de 60 personas de cada 100 sufren enfermedades respiratorias.<sup>1</sup>

El dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre son gases tóxicos que a elevadas concentraciones pueden producir efectos adversos (crónicos o agudos) e incrementar la frecuencia y seriedad de los síntomas de respiración baja (bronquitis). Su monitoreo, y el de otros gases contaminantes, es básico para la toma de decisiones para el cuidado del aire; el cual es esencial para la vida en el planeta.<sup>2</sup>

Los muestreadores para sustancias gaseosas presentes en la atmósfera se pueden clasificar en activos y pasivos. La principal diferencia entre estos muestreadores es la forma utilizada para transferir el contaminante de la atmósfera al medio de colección. Los muestreadores pasivos son definidos como aquellos en los que no se utiliza energía eléctrica o cualquier mecanismo de propulsión para la colecta. Los muestreadores activos utilizan una bomba y controladores de flujo necesarios así como energía eléctrica para el funcionamiento.<sup>3</sup>

Las técnicas para el seguimiento a largo plazo son más comunes siendo basadas en un muestreo pasivo, ya que el muestreo pasivo simplifica enormemente tanto la toma de muestras y los pasos de preparación de muestras, elimina los requisitos de energía y reduce significativamente el costo de los análisis.<sup>4</sup>

En la actualidad los dispositivos o muestreadores pasivos son distribuidos comercialmente y varios han sido estandarizados, pero la desventaja es su alto precio y plazos mayores para la adquisición de los resultados y ello está ocurriendo en nuestra ciudad. Por ello en el presente trabajo de investigación, se construyeron dispositivos con materiales accesibles y similares a los utilizados para dispositivos estandarizados, lo cual da como resultado importante la disminución del costo por dispositivo y menor tiempo para reportar los resultados y con ello el órgano responsable pueda tomar decisiones y/o acciones preventivas o correctivas para la disminución de la contaminación atmosférica. Nuestra ciudad necesita tener un abanico completo, factible y eficiente de metodologías para el monitoreo de contaminación, no solo de la calidad del aire; sino también de aguas y de suelos, todo ello para la determinación de zonas críticas de contaminación, y así prevenir graves consecuencias irreversibles en contra del medio ambiente.

En la presente investigación se reporta los resultados (los cuales se desarrollaron en forma ordenada a través de capítulos) obtenidos al construir dispositivos de difusión pasiva tipo tubo, para el monitoreo de dióxido de nitrógeno y de dióxido de azufre en diferentes zonas de la ciudad de Arequipa. Se muestra también, los resultados de las validaciones de las metodologías aplicadas (donde se incluye los parámetros de validación de los métodos) y una serie de anexos que complementan el entendimiento del desarrollo de la investigación. Por otro lado, para la recolección de datos se menciona la aplicación del llenado de registros (de campo y de laboratorio).

Previamente se propuso y se aprobó el Proyecto de Investigación, el cual está presentado en anexos, cuya estructura contempla el planteamiento teórico, detallando el problema de investigación, el marco conceptual, el análisis de los principales antecedentes investigativos, así como la mención de los objetivos y la hipótesis. En el planteamiento operacional se describen las técnicas, se lista los instrumentos utilizados, los materiales de verificación y el campo de verificación (tanto espacial, temporal y las unidades de estudio).

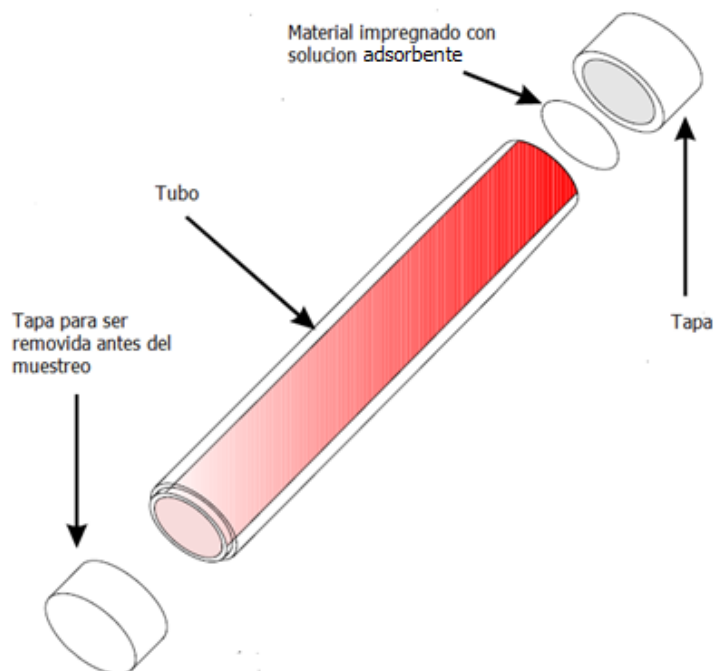
El desarrollo y culminación de la investigación se debe gracias al apoyo brindado por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (a través del CONTRATO 336-2009-CONCYTEC) y a la gran labor desarrollada por el Dr. José Villanueva Salas.

## CAPÍTULO 1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 1.1. CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVOS DE DIFUSIÓN PASIVA TIPO TUBO Y CONTENEDOR

#### 1.1.1. Construcción de dispositivos de difusión pasiva tipo tubo

Los componentes típicos de los dispositivos de difusión pasiva tipo tubo consisten en un tubo, dos tapas y una membrana impregnada con la solución adsorbente<sup>5</sup> (ver **FIGURA 1**).

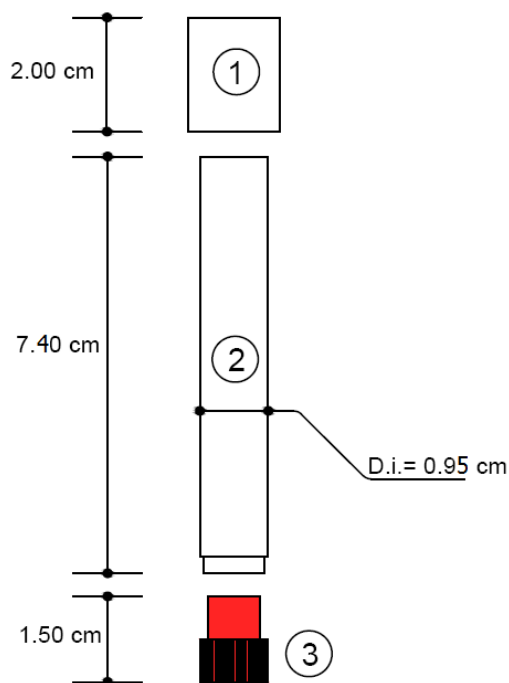


**FIGURA 1.** Componentes de un dispositivo de difusión pasiva tipo tubo.<sup>5,6</sup>

Entonces, para la construcción del dispositivo que sirvió para la determinación de dióxido de nitrógeno se consideró las dimensiones (del largo y diámetro de la sección transversal del tubo) utilizadas por el Laboratorio analítico para el medio ambiente (Männedorf SUIZA, cuya empresa representante en el Perú es Klepel Consulting S.A.C. A los dispositivos distribuidos por dicha empresa, en los siguientes párrafos serán mencionados como “dispositivos distribuidos comercialmente”). El diseño y las dimensiones de dicho dispositivo, se muestran en las **FIGURAS 2 y 3** respectivamente.



**FIGURA 2.** Diseño de dispositivo distribuido comercialmente.<sup>7</sup>



**FIGURA 3.** Dimensiones de dispositivo distribuido comercialmente.<sup>7</sup>

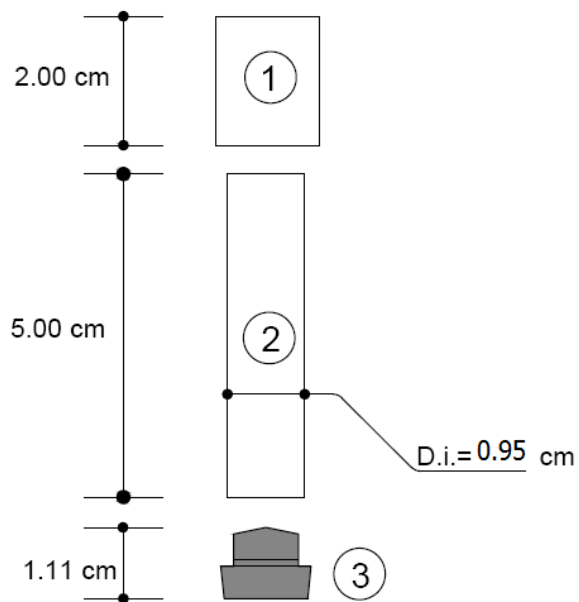
Por otro lado, para el caso de los dispositivos para el monitoreo de dióxido de azufre se utilizó como diseño modelo a los utilizados por la empresa Deuman S.A.C.; fue así que sus dimensiones también fueron utilizadas su construcción.

Una vez vistas las dimensiones, se utilizó para la construcción de los nuevos diseños un tubo de tereftalato de polietileno (PET) (el cual es comercializado como vacutainer). El material de la tapa (tapón), que servirá para ser removida antes y después del muestreo, fue de goma y el material de la tapa superior (la cual fue hecha de tal manera que cerrara a presión para que el material impregnado con la solución adsorbente quede fijo) fue de PVC (cloruro de polivinilo) de color blanco.

En el caso de la construcción del dispositivo para la determinación de dióxido de nitrógeno, se decidió utilizar polietileno como material del tubo ya que se ha reportado ciertas recomendaciones con respecto a la influencia que tienen algunos materiales. Tal es el caso que, *Heal (1999)* recomienda no utilizar tubos de cuarzo puesto que transmiten la radiación UV produciéndose, probablemente, la fotólisis del  $\text{NO}_2$ ; en cuanto a los captadores acrílicos, éstos suelen sobreestimar las concentraciones de  $\text{NO}_2$  en comparación con los analizadores por quimiluminiscencia, probablemente como consecuencia de la reacción entre el  $\text{NO}$  y el  $\text{O}_3$  ambiental en el interior del captador. Sin embargo, no hay pruebas suficientes en la actualidad para armonizar el material del tubo a favor sea de acrílico o polipropileno. Por el momento, ya sean tubos de polipropileno o acrílico pueden ser utilizados.<sup>8</sup>

Por otro lado, el uso de polietileno (para la construcción del tubo) se ha reportado en varias investigaciones. Se tiene como ejemplo claro lo desarrollado por *Campos et al.* quienes utilizaron para la construcción del tubo (de 1.20 cm de largo) polietileno; también, *Cruz et al.* reportaron el uso de dicho material para la construcción del tubo y lograron monitorear  $\text{SO}_2$  bajo condiciones ambientales en Brasil. *De Santis et al.* reportaron el uso de polietileno para el diseño del tubo de 2.8 cm para el monitoreo no solo de  $\text{SO}_2$ , sino también de  $\text{NO}_2$ . Es importante mencionar que de acuerdo al material del tubo, se deberá escoger el material de la tapa superior.<sup>9,10,11,12</sup>

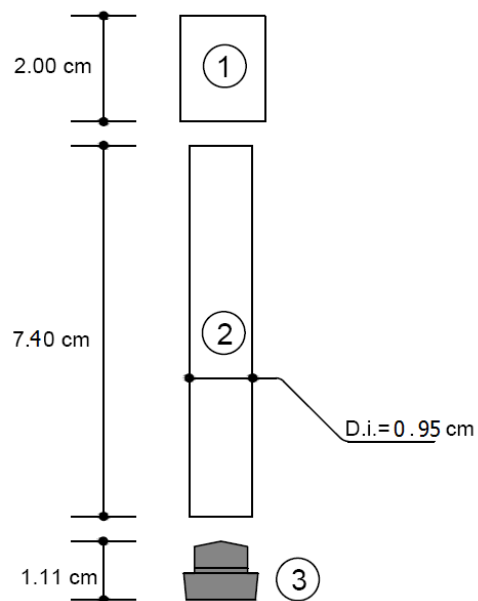
Por lo mencionado en el párrafo anterior, los materiales usados para la construcción del dispositivo para el monitoreo de dióxido de azufre (ver dimensiones finales en la **FIGURA 4**) fueron los mismos que se utilizaron para la construcción del dispositivo para dióxido de nitrógeno (diseño y dimensiones finales en la **FIGURAS 5 y 6**).



**FIGURA 4.** Dimensiones de dispositivo construido para el monitoreo de dióxido de azufre.



**FIGURA 5.** Diseño de dispositivo construido para el monitoreo de dióxido de nitrógeno.



**FIGURA 6.** Dimensiones de dispositivo construido para el monitoreo de dióxido de nitrógeno.

En la **FIGURA 7**, se muestra los dos dispositivos construidos y el distribuido por el Laboratorio analítico para el medio ambiente (Männedorf SUIZA, cuya empresa representante en el Perú es Klepel Consulting S.A.C.).



**FIGURA 7.** Vista de dispositivos construidos y el distribuido comercialmente.

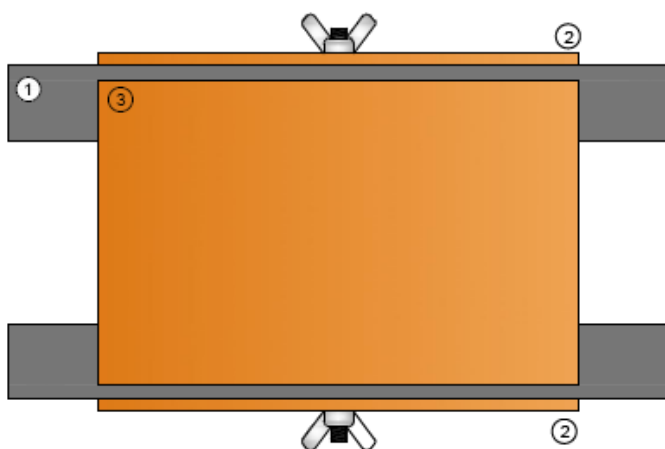
Con respecto a los dispositivos construidos, se consideró el no utilizar tubos rotos, dañados o que tengan extremos irregulares que pueden impedir que las tapas cierren correctamente. Con respecto a la tapas, se descartó aquellas que no que no cerraban eficientemente a presión.<sup>13</sup>

### 1.1.2. Construcción del contenedor

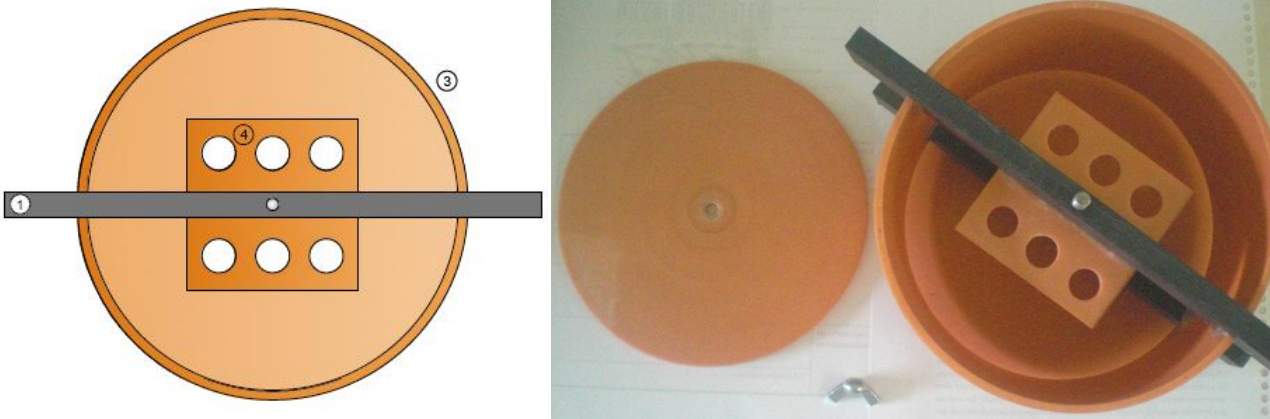


**FIGURA 8.** Vista de contenedor que es distribuido comercialmente. Zona: Universidad Católica de Santa María.

Con respecto al contenedor (dispositivo especial, usado para la protección de la lluvia y minimización de la influencia del viento), fue construido de PVC (cloruro de polivinilo) y cuyas dimensiones (ver **ANEXO 2**) fueron similares a las medidas de los contenedores distribuidos (ver **FIGURA 8**), también, por el laboratorio antes mencionado. Una vista lateral y superior se muestran en las **FIGURAS 9 y 10**.



**FIGURA 9.** Vistas laterales de contenedor construido.



**FIGURA 10.** Vistas superiores de contenedor construidos.

El uso del contenedor, para fijar a los tubos, como refugio de protección es importante debido a que es una solución para limitar el efecto de la velocidad del viento.<sup>13,14</sup>

El contenedor mostrado en la **FIGURA 8**, es similar al propuesto por *Hangartner et al.* *Hangartner et al.* (1989) propusieron un dispositivo de protección en forma de un cilindro que tiene tapas de rosca en sus extremos, lo que permite el mantenimiento de dos aberturas circulares de 5 mm.<sup>13</sup>

Para probarla eficacia del dispositivo de protección, *Hangartner et al.* compararon mediciones de tubos de difusión, para la determinación de NO<sub>2</sub>, con y sin techo (es decir, con o sin la protección del contenedor); cada conjunto de medidas que se realizaron constaron de tres tubos en un refugio y los tubos de tres sin protección, expuestos en un lugar durante dos semanas. Sus resultados revelaron que la presencia del contenedor mejoró significativamente la precisión de las mediciones (para dicha conclusión se basaron en la norma 13752, la cual es utilizada para evaluar la incertidumbre de los tubos bajo condiciones de campo estudiando un método candidato por comparación directa con un método de referencia).<sup>13</sup>

Por otro lado, los dispositivos tipo tubo normalmente no se ven afectados por las bajas velocidades del aire; pero aquellos que no sean fijados en contenedores sí que pueden verse afectados. Luego, los captadores tipo disco generalmente tienen una gran superficie

transversal y una pequeña longitud de paso; por lo que estos pueden verse más afectados por las velocidades del viento que los diseño tipo tubo y típicamente necesitan unas velocidades del viento mínimas de 0.50 a 0.20 m/s.<sup>15</sup>

## 1.2. DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO

### 1.2.1. Validación del método

Se decidió realizar la validación del método (tanto para la determinación de dióxido de nitrógeno, como para la determinación de dióxido de azufre – de este último se detallará el procedimiento más adelante), debido a las siguientes razones:

- Para demostrar que los métodos son adecuados a los análisis propuestos en las condiciones descritas.
- Para demostrar que los métodos ofrecen confianza y seguridad en los resultados, lo cual a su vez minimiza el número de fallos y repeticiones permitiendo un importante ahorro de costes.
- Para demostrar que los métodos validados permiten no solo el conocimiento del método analítico sino también permiten cumplir las exigencias legales.
- Porque la validación es también un paso o requisito previo de los procesos de transferencia de métodos analítico.<sup>16</sup>

#### 1.2.1.1. Preparación de la gráfica de calibración

Para ello, se introdujo en tubos de ensayo los volúmenes de la solución de stock señalado en la **TABLA 1** (ver cálculos en **ANEXO 5**); donde se muestra también los moles de dióxido de azufre en los 4 mL de reactivo colorimétrico de acuerdo a los volúmenes de la solución stock tomados.

Para la preparación del stock de nitrito se consideró lo siguiente:

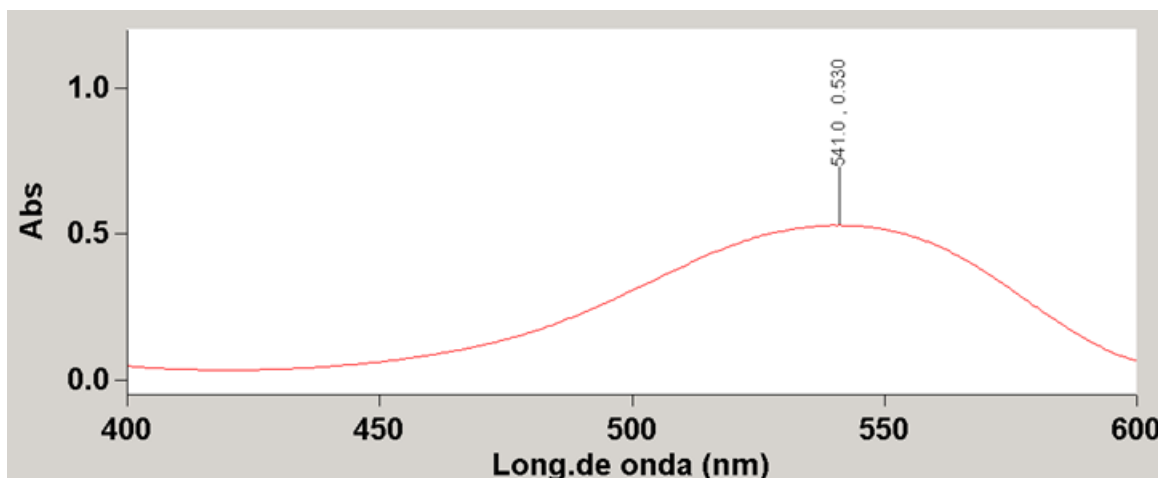
- Preparación de solución de nitrito de sodio: se pesó 0.0375 g de nitrito de sodio (previamente secado) y se lo diluyó con agua destilada en una fiola ámbar de 25 mL.
- Preparación stock de nitrito de sodio: se tomó 1 mL de la solución anterior en 25 mL de agua destilada (se trabajó también utilizando una fiola ámbar).

**TABLA 1.** Volumen y concentraciones para la preparación de la gráfica de calibración <sup>5</sup>.

<b>Estándar</b>	<b>Volumen de solución stock añadido (<math>\mu</math>L) por 4 mL de reactivo colorimétrico</b>	<b>Concentración en <math>\mu</math>g de NO<sub>2</sub> en los 4 mL de reactivo colorimétrico</b>	<b>Nanomoles de NO<sub>2</sub> en 4mL de reactivo colorimétrico</b>
1	10	0.40	8.7
2	20	0.80	17.4
3	40	1.60	34.8
4	60	2.40	52.2
5	80	3.20	69.6

*Fuente: Elaboración propia.*

Para la determinación de la longitud de onda óptima de trabajo, previamente se hizo un escaneo de la absorbancia de uno de los tubos de ensayo de concentración intermedia; es así que el equipo Espectrofotómetro visible Agilent Cary 60 proporcionó una longitud de onda de 541 nm (ver **FIGURA 11**). Para dicha determinación, se trabajó con un control de barrido simple y el escaneo se hizo en un rango de 600 a 400 nm.



**FIGURA 11.** Obtención de longitud de onda óptima.

#### 1.2.1.2. Análisis de los criterios de validación

Por otro lado, para realizar la validación del método las determinaciones se hicieron por triplicado. Se consideró los siguientes criterios de validación:

##### a. Evaluación estadística de linealidad

El estudio de la linealidad no solo implica una representación gráfica sino que es necesario realizar una comprobación estadística. Por ello, para la evaluación estadística de la linealidad se determinó la **ecuación de la recta** y el **coeficiente de determinación**.

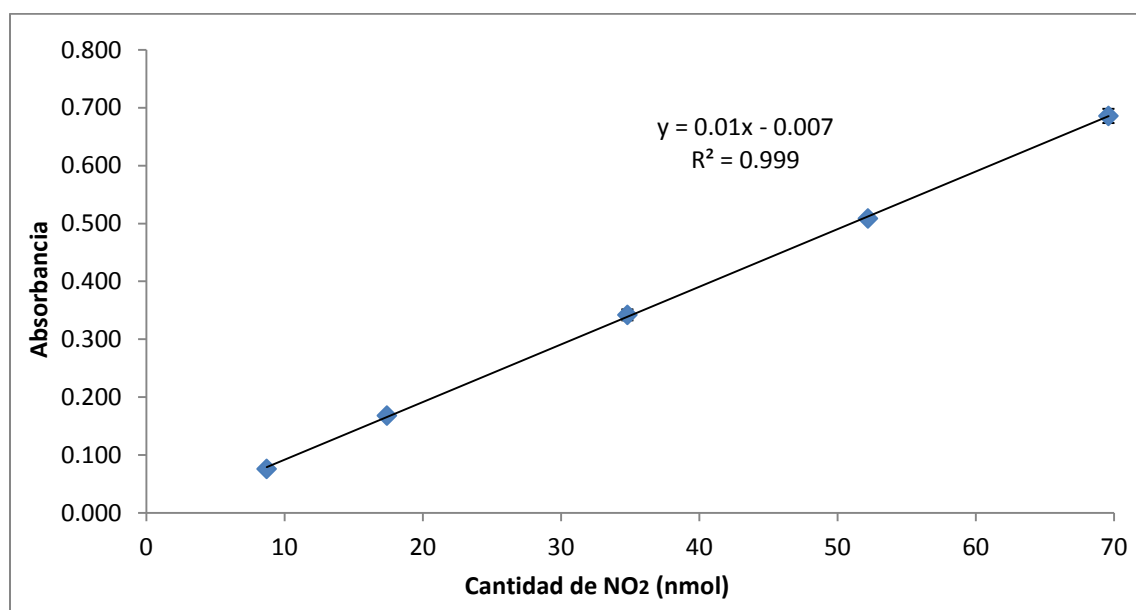
Una vez entonces determinados los nanomoles (nmol) de  $\text{NO}_2$ , de acuerdo a los volúmenes tomados y la longitud de onda óptima, se construyó la gráfica de calibración para la evaluación de la linealidad.

**TABLA 2.** Absorbancias promedio y desviaciones estándar de resultados obtenidos para la determinación de linealidad.

N° de adición	Nanomoles de NO <sub>2</sub> en los 4mL de reactivo colorimétrico	Absorbancia promedio ± s
1	8.7	0.076 ± 0.005
2	17.4	0.168 ± 0.004
3	34.8	0.342 ± 0.009
4	52.2	0.509 ± 0.006
5	69.6	0.686 ± 0.012

s: desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 12.** Cantidad de NO<sub>2</sub> (nmol) vs. absorbancia. Determinación de linealidad para validación del método.

La **TABLA 2**, muestra los resultados de absorbancia promedio en relación a la cantidad de NO<sub>2</sub> en nanomoles (para revisar las absorbancias obtenidas ver **ANEXO 6**). Los resultados fueron plasmados en la **FIGURA 12**.

Para la evaluación estadística de la linealidad se obtuvo la ecuación de la recta donde  $y = 0.010x - 0.007$  y el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.999 (mostrados en la **FIGURA 12**). Por lo obtenido, se puede decir que existe correlación entre las medidas con una probabilidad elevada; entonces, se puede concluir que el método es lineal en un rango de absorbancia de  $0.076 \pm 0.005$  a  $0.686 \pm 0.012$ .

*b. Precisión*

La precisión expresa el grado de concordancia entre una serie de medidas de tomas múltiples a partir de una misma muestra homogénea en las condiciones prescritas. En el presente trabajo se determinó repetibilidad, precisión intermedia y reproducibilidad; cada una fue determinada por triplicado. Para la **repetibilidad**: se debe considerar que las determinaciones se deben hacer por triplicado, por un único operador y en el mismo laboratorio; pero en diferentes días. Por ello, se tomó los datos obtenidos en linealidad (mostrados en la **TABLA 2**) y se realizó la respectiva determinación del coeficiente de variación y de los intervalos de confianza (todo ello plasmado en la **TABLA 3** – ver datos completos en **ANEXO 6** -).

**TABLA 3.** Resultados obtenidos para el análisis de repetibilidad. Determinación de Precisión.

N° de adición	Nanomoles de NO <sub>2</sub> en los 4 mL de reactivo colorimétrico	Absorbancia promedio $\pm s$	Coeficiente de variación (%)	Intervalos de confianza al 95% para la Absorbancia	
				Límite inferior	Límite superior
1	8.7	$0.076 \pm 0.005$	6.55	0.064	0.089
2	17.4	$0.168 \pm 0.004$	2.66	0.157	0.179
3	34.8	$0.342 \pm 0.009$	2.76	0.319	0.366
4	52.2	$0.509 \pm 0.006$	1.14	0.494	0.523
5	69.6	$0.686 \pm 0.012$	1.79	0.656	0.716

*s: desviación estándar.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Para definir si el método era repetible o no, se consideró los límites del coeficiente de variación en función de la concentración del analito establecidos por la AOAC (Asociación Oficial de Químicos Analíticos). Como la concentración máxima para la realización de la gráfica de calibración fue de 3.20  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_2$  en los 4 mL de reactivo colorimétrico se consideró, entonces un valor de coeficiente de variación aceptable no mayor a 11% (el cual corresponde a una concentración de 1  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ).<sup>16,17</sup>

Por lo observado en la **TABLA 3**, los valores de coeficiente de variación obtenidos (con un valor máximo de 6.55% y un mínimo de 1.14%) no sobrepasan el valor límite mencionado en el párrafo anterior (de 11%); lo cual permite concluir que el método aplicado posee repetibilidad.

Por otro lado, se consideró también lo reportado por *Horwitz et al.* en 1980; quienes dieron a conocer coeficientes de variación para diferentes concentraciones<sup>18</sup> (ver **TABLA 4**) y en la cual se puede observar que para una concentración del analito de 1  $\mu\text{g}/\text{mL}$  se tiene un coeficiente de variación de hasta 16 %. Ello afirma nuevamente que el método aplicado poseía repetibilidad.

**TABLA 4.** Coeficiente de variación de Horwitz para diferentes concentraciones.

Concentración del analito	CV de Horwitz expresado en %
10 %	2.8 %
1 %	4.0 %
0.1%	5.6 %
0.01%	8.0 %
1 ppm	16 %
1 ppb	45 %

*Fuente: Rivera, C. y Rodríguez, M. Uso de la ecuación de Horwitz en laboratorios de ensayos NMX-EC-17025-IMNC-2006. Simposio de Metrología; 2010.*

En el caso de la **precisión intermedia**: se realizó las determinaciones por tres distintos operadores, en diferentes días; pero en un mismo laboratorio (las lecturas realizadas por cada operador se muestran en **ANEXO 7**). Para poder afirmar que el método aplicado poseía precisión intermedia, se consideró que generalmente se aceptan los valores de coeficiente de variación obtenidos por los distintos operadores inferiores al doble del coeficiente de variación de la repetibilidad del método.<sup>16</sup>

**TABLA 5.**Resultados obtenidos para el análisis de precisión intermedia. Determinación de Precisión.

N° de adición	Nanomoles de NO <sub>2</sub> en los 4 mL de reactivo colorimétrico	Absorbancia promedio $\pm s$	Coeficiente de variación (%)	Intervalos de confianza al 95% para la Absorbancia	
				Límite inferior	Límite superior
1	8.7	0.081 $\pm$ 0.001	1.50	0.078	0.084
2	17.4	0.169 $\pm$ 0.006	3.32	0.155	0.183
3	34.8	0.349 $\pm$ 0.011	3.17	0.321	0.376
4	52.2	0.516 $\pm$ 0.024	4.57	0.457	0.574
5	69.6	0.676 $\pm$ 0.021	3.16	0.623	0.729

*s*: desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia.

En la **TABLA 5**, se muestran los resultados promedio de tres distintos operadores cuyas determinaciones se hicieron en días distintos; mas en un solo laboratorio. Los valores de coeficiente de variación obtenidos fueron aceptables.<sup>17</sup>

Posteriormente, los valores de precisión intermedia mostrados en la **TABLA 5** fueron comparados con el doble de los obtenidos en la repetibilidad; por ello se muestra la **TABLA 6**, en la cual se puede observar que los coeficientes de variación hallados para precisión intermedia no sobrepasan al doble de los coeficientes de variación de la repetibilidad, lo cual indica que el método posee precisión intermedia.

Otro aspecto que confirma la precisión intermedia del método es el intervalo de confianza. Los valores obtenidos de absorbancia en la precisión intermedia (TABLA 5) no deben pasar los intervalos de confianza al 95% mostrados para repetibilidad en la TABLA 6 y como se puede observar, ningún valor de absorbancia resultante en la precisión intermedia sobrepasa los límites de confianza de la repetibilidad.<sup>16</sup>

**TABLA 6.** Comparación de coeficientes de variación para el repetibilidad y precisión intermedia.

Nº de adición	Nanomoles de NO <sub>2</sub> en los 4 mL de reactivo colorimétrico	Coefficiente de variación (%) de <i>Repetibilidad x 2</i>	Coefficiente de variación (%) de <i>Precisión intermedia</i>
1	8.7	13.10	1.49
2	17.4	5.33	3.32
3	34.8	5.52	3.17
4	52.2	2.28	4.57
5	69.6	3.57	3.16

*Fuente: Elaboración propia.*

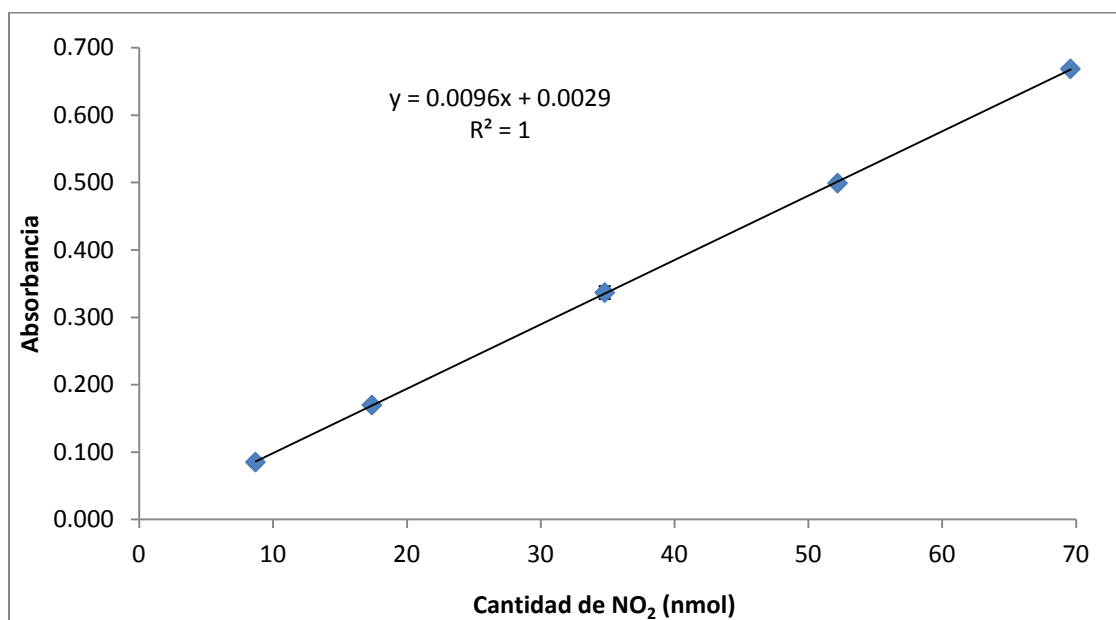
Para el caso de **reproducibilidad**: para poder demostrar que la metodología seguida podría ser utilizada en otros laboratorios, se decidió realizar el respectivo análisis para demostrar la reproducibilidad del método. Para ello, se trabajó dicho aspecto en el Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María. El laboratorio en mención, cuenta con el equipo Shimadzu UV-1700; los promedios de los resultados obtenidos se muestran en la TABLA 7 (ver datos completos en ANEXO 7).

**TABLA 7.** Resultados obtenidos para el análisis de reproducibilidad. Determinación de Precisión.

N° de adición	Nanomoles de NO <sub>2</sub> en los 4 mL de reactivo colorimétrico	Absorbancia promedio $\pm s$	Coeficiente de variación (%)	Intervalos de confianza al 95% para la Absorbancia	
				Límite inferior	Límite superior
1	8.7	0.085 $\pm$ 0.006	6.62	0.071	0.099
2	17.4	0.170 $\pm$ 0.003	1.71	0.163	0.177
3	34.8	0.337 $\pm$ 0.009	2.81	0.313	0.360
4	52.2	0.499 $\pm$ 0.004	0.74	0.490	0.508
5	69.6	0.669 $\pm$ 0.002	0.26	0.664	0.673

*s*: desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia.

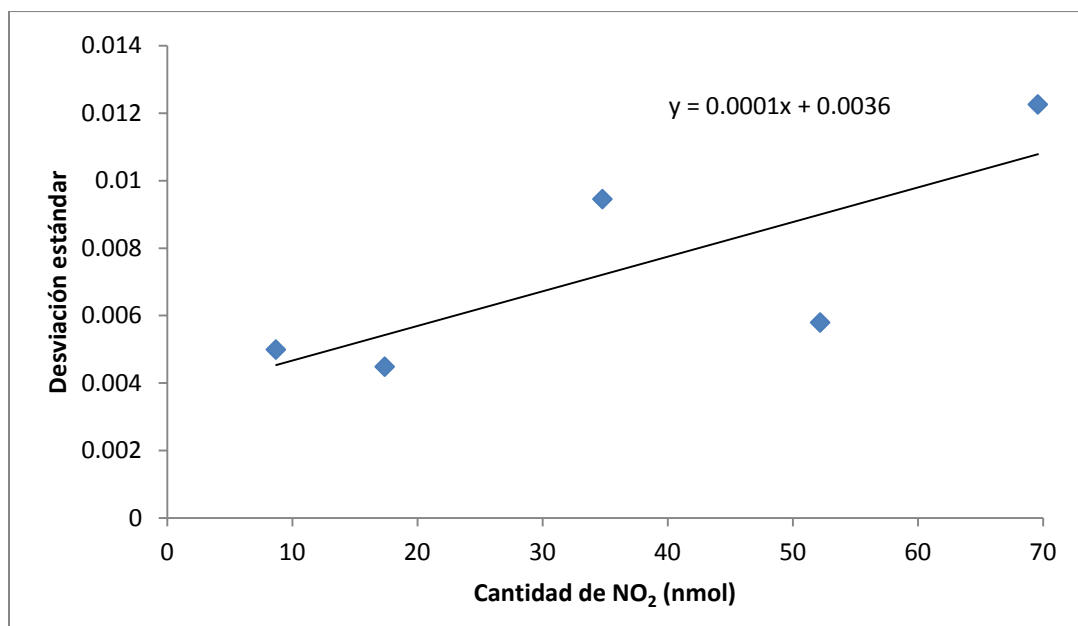


**FIGURA 13.** Cantidad de NO<sub>2</sub> (nmol) vs. absorbancia. Determinación de reproducibilidad para validación del método.

Por los resultados obtenidos y mostrados en la **TABLA 7**, listados a continuación, se puede concluir que el método posee reproducibilidad:

- Coeficientes de variación menores a los límites establecidos de 11% (dado por la AOAC) y del 16% (según *Horwitz et al.*).
- Valores de absorbancias promedio que están dentro de los intervalos de confianza al 95% obtenidos en la repetibilidad.
- Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.999 (ver **FIGURA 13**).

c. *Sensibilidad*



**FIGURA 14.** Cantidad de NO<sub>2</sub> (nmol) vs. desviación estándar. Determinación de la sensibilidad para validación de método.

La sensibilidad de un método analítico corresponde a la mínima cantidad de analito que puede producir un resultado significativo. Se determinó el límite de cuantificación y de detección, para ello se utilizó los datos obtenidos en la linealidad; en la cual, se obtuvo una pendiente ( $b$ ) de 0.010 y el valor de la intersección ( $Y_{bl}$ ) de -0.007. Luego, para la obtención de la desviación estándar del blanco ( $s_{bl}$ ) se graficó la recta correspondiente a la cantidad vs. desviación estándar

y se extrapoló la desviación estándar a cero ( ver **FIGURA 14**). De dicha gráfica se obtuvo un valor de  $s_{bl}$  de +0.004.

Aplicando las ecuaciones mostradas en el **ANEXO 1**, se obtuvo 0.159 nanomoles de  $\text{NO}_2$  en 4 mL de reactivo colorimétrico como límite de detección (LD) y 1.305 nanomoles de  $\text{NO}_2$  en 4 mL de reactivo colorimétrico como límite de cuantificación (LC).

Con respecto a la **exactitud**, era necesario realizar un análisis con materiales de referencia certificados<sup>19</sup> y/o realizar un monitoreo paralelo utilizando un análisis automático; pero como no se obtuvo ninguno de ellos no se pudo realizar la evaluación respectiva de exactitud del método.<sup>20</sup>

### 1.2.2. Preparación de dispositivos

Para el desarrollo de este aspecto, se utilizó rejillas de acero inoxidable para los dispositivos distribuidos comercialmente; por otro lado, para los dispositivos construidos se utilizó también rejillas de acero inoxidable pero de menor calidad.

Para la impregnación, en ambos casos de las rejillas, se disolvió 3.5 g de trietanolamina en 25 mL de acetona; pero las rejillas (las de acero inoxidable y las de acero inoxidable de menor calidad) fueron impregnadas en recipientes separados y por un periodo de aproximadamente 15 minutos (ello debido al número de rejillas), una vez cumplido el tiempo de impregnación, se colocó las rejillas sobre el papel absorbente (con la ayuda de pinzas) y se dejó evaporar el solvente. Luego, se prosiguió como se detalla en el **ANEXO 1**. Todo ello se llevó a cabo para los 6 meses monitoreados.

Es importante mencionar que se ha reportado el uso otras soluciones de impregnación para la determinación de dióxido de nitrógeno. En el 2007 un grupo de investigadores realizaron pruebas de campo, utilizaron dispositivos de difusión que fueron elaborados y analizados por 8 laboratorios<sup>21</sup>. Dos de los métodos utilizados fueron una solución de

trietanolamina/acetona (50%) y el otro de trietanolamina/agua (20%), dando como resultado un desempeño bajo con este último método; es así que algunos laboratorios añaden una otros agentes para este método, pero actualmente no existe una fuerte evidencia a favor o en contra del uso de agentes.<sup>22,23</sup>

Por otro lado, no hay informes de interferencia negativa en la toma de muestras en dispositivos de difusión pasiva tipo tubo con trietanolamina como material adsorbente, más únicamente los efectos de la humedad y la temperatura (los efectos serán negativos a  $T > 30^{\circ}\text{C}$  y  $\text{HR} > 80\%$ ).<sup>2,13</sup>

Otro reporte hace mención a sus resultados obtenidos en laboratorio, los cuales muestran que la adición de nitrato (a los dispositivos de difusión) antes del muestreo no interfiere con la reacción que se da entre la trietanolamina y el  $\text{NO}_2$ .<sup>2</sup>

Finalmente, se armó el dispositivo con tres rejillas en su interior (tanto para los dispositivos distribuidos comercialmente, como para los construidos). Para el caso de los dispositivos del modelo construido, para cada periodo de monitoreo se hicieron modificaciones (uso de rejillas deformes, rejillas no deformes y modificación del orden de la instalación de los dispositivos); ello para evaluar las posibles influencias frente a los dispositivos distribuidos comercialmente.

Una vez concluido el armado de los dispositivos, éstos fueron rotulados y almacenados a temperaturas de 6 a  $7^{\circ}\text{C}$  hasta su respectiva exposición. En esta etapa se llenó el Registro de Laboratorio.<sup>5</sup> (ver **ANEXO 3**)

El número de rejillas fue de tres, debido a que se ha reportado que el uso de una sola rejilla da resultados bajos a comparación de los monitores automáticos (*Reeuwijk et al., 1998*). Es probable que esta fue causada por adsorción ineficiente o la saturación de la trietanolamina, ya que el uso de una sola red se muestra solo para dar el 50 % de captura en comparación con un analizador automático; pero el uso de más de una rejillas resuelve dicho problema (*Kasper-Giebly Puxbaum, 1999*).<sup>2</sup>

### 1.2.3. Exposición y recolección de muestras

Para la exposición, se retiró los dispositivos preparados del refrigerador y fueron almacenados de forma adecuada para su transporte y su posterior exposición.

En cada contenedor, se colocaron tres dispositivos contruidos y tres dispositivos que son distribuidos por la empresa ya antes mencionada (ver **FIGURA 15**). Después de ubicar los dispositivos (con la tapa inferior retirada), se cerró el contenedor (ver **FIGURA 16**). Dicho aspecto de instalación se llevó a cabo gracias a la Gerencia Regional de Salud de Arequipa.



**FIGURA 15.** Instalación de dispositivos.



**FIGURA 16.** Contenedor con dispositivos para el respectivo monitoreo de dióxido de nitrógeno.

Una vez cumplido el periodo específico, se recogieron los dispositivos (los cuales una vez retirados se les colocó la tapa inferior) y se almacenaron en un recipiente adecuado para su transporte.

Para cada mes, se llenó el Registro de Campo; en el cual se menciona la zona de monitoreo, la fecha y hora tanto para la instalación; como para el recojo de los dispositivos, así como un espacio para señalar las respectivas observaciones. Un ejemplo de la forma de llenado del registro se muestra en **ANEXO 4**. Los datos de fechas y horas de instalación y recojo, sirvieron para la determinación del cociente de captación (*S*).

#### **1.2.4. Análisis de muestras**

Previamente, vale recalcar que para el análisis cuantitativo se tuvo en cuenta lo relacionado a cifras significativas.<sup>25</sup>

Luego, se realizó el monitoreo de dióxido de nitrógeno por un periodo de 6 meses, en 10 diferentes zonas de la ciudad de Arequipa. De cada uno de ellos, tanto el modelo construido como el distribuido comercialmente, se instalaron tres por zona.

Para el caso de los dispositivos del modelo construido, para cada periodo se hicieron modificaciones (uso de rejillas deformes, rejillas no deformes y modificación del orden de la instalación de los dispositivos); ello para evaluar las posibles influencias frente a los dispositivos distribuidos comercialmente.

Luego, se hizo la comparación estadística con los resultados obtenidos versus los resultados obtenidos por el uso de los dispositivos distribuidos comercialmente (la cual proporciona dispositivos con rejillas de acero inoxidable).

Para los dispositivos construidos, el Instituto Geofísico de la UNSA Characato fue considerado como Blanco de Campo (BC); pero para el caso del uso de los dispositivos

distribuidos por la empresa mencionada en el párrafo anterior, los BC fueron ubicados en San José de Tiabaya.

#### 1.2.4.1. Resultados de gráficas de calibración

Por otro lado, es importante señalar que la validación del método se realizó antes de iniciar el monitoreo respectivo. Una vez validado el método, se prosiguió con las lecturas de las muestras; pero para cada conjunto de muestras leídas de cada mes previamente se preparó una gráfica de calibración ( Cantidad de NO<sub>2</sub> en nanomoles vs. Absorbancia) en la cual se evaluó la pendiente e intercepto obtenidas, si éstas estaban fuera del rango establecido se identificaba las posibles fuentes de error y nuevamente se preparaba la gráfica.<sup>26</sup>

Es así que para presentar los resultados obtenidos para cada mes previamente se mostrará también los resultados obtenidos de la preparación de la gráfica de calibración. Estos últimos de forma ordenada se muestran en la **TABLA 8**.

**TABLA 8.** Resultados obtenidos de la preparación de la gráfica de calibración para cada mes monitoreado.

Mes – Año	Valor de la pendiente	Valor del intercepto	Coefficiente de determinación (R <sup>2</sup> )
AGOSTO – 2011	0.010	-0.006	1.00
OCTUBRE – 2011	0.010	-0.002	1.00
NOVIEMBRE - 2011	0.010	0.005	1.00
DICIEMBRE – 2011	0.010	-0.010	1.00
ENERO – 2012	0.010	-0.002	1.00
FEBRERO – 2012	0.010	0.001	1.00

*Fuente: Elaboración propia.*

Por lo observado en la **TABLA 8**, todos los valores de pendiente y del intercepto no sobrepasaron los límites establecidos (para la pendiente de 0.0095 a 0.110 y del intercepto de -0.015 a +0.015). Con respecto a  $R^2$ , todas las gráficas obtenidas en los meses monitoreados devuelven valores de  $R^2$  de 1.00; lo que significa un ajuste lineal perfecto.<sup>27</sup>

**TABLA 9.** Aspectos de verificación: estándar y ecuación de la gráfica.

Mes – Año	Ecuación de la gráfica de calibración	Absorbancia promedio	Cantidad (nmol) hallada a partir de la Ecuación de la gráfica
AGOSTO – 2011	$y = 0.010 b - 0.006$	0.263	26.90
OCTUBRE – 2011	$y = 0.010 b - 0.002$	0.257	25.36
NOVIEMBRE – 2011	$y = 0.010 b + 0.005$	0.263	25.80
DICIEMBRE – 2011	$y = 0.010 b - 0.010$	0.264	26.68
ENERO – 2012	$y = 0.010 b - 0.002$	0.268	25.94
FEBRERO – 2012	$y = 0.010 b + 0.001$	0.259	25.93

Fuente: *Elaboración propia.*

Otro parámetro que sirvió para el control de calidad, fue la medición de un estándar de verificación. Dicho estándar se preparó al mismo tiempo que se realizó las gráficas de calibración, es decir para cada gráfica de calibración se determinó un estándar de verificación (30  $\mu$ L de solución stock por 4 mL de reactivo colorimétrico, lo cual equivale a 26.09 nanomoles). Los resultados obtenidos, se muestran en la **TABLA 9**.

Como se observa en la **TABLA 9**, los valores de las cantidades (en nmol) de los estándares de verificación obtenidos, no sobrepasan el límite aceptable ( de  $26.09 \pm 2.61$  nanomoles); lo cual permitió (junto con el análisis respectivo mostrado en la **TABLA 8**) continuar con las lecturas de las muestras en los meses respectivos.

Las absorbancias promedio obtenidas de las muestras utilizando los dispositivos distribuidos para la empresa antes mencionada (lecturas realizadas por triplicado),

para cada mes y zona de monitoreo, se muestran en **ANEXO 9**. Utilizando las ecuaciones mostradas en la **TABLA 9**, se determinó la cantidad de nanomoles de  $\text{NO}_2$  en dichas muestras (los cuales también se muestran en **ANEXO 9**). De la misma manera, en **ANEXO 10**, se muestran los resultados de las lecturas de las muestras (tanto las absorbancias promedio, como los nanomoles de  $\text{NO}_2$  hallados aplicando la ecuación de la gráfica dependiendo del mes a monitorear) utilizando los dispositivos construidos.

Luego, la concentración de dióxido de nitrógeno por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se determinó aplicando la **Ec. (1)**.

$$\text{NO}_2 \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \frac{(\text{nanomoles})\text{NO}_2 * 46 * 1000}{S * t * 60} \quad (1)$$

*Donde:*

$S$  = cociente de captación (mL/min).

$t$  = tiempo de exposición (h).

#### 1.2.4.2. Determinación del cociente de captación ( $S$ )

Para ello, previamente se evaluó el cociente de captación ( $S$ ) según la **Ec. (2)**. Luego, como se presentó en el **punto 1.1.**, el dispositivo construido fue hecho de las mismas dimensiones del distribuido por la empresa antes mencionada; por ello el valor que se obtuvo de  $S$  fue utilizado para la determinación de dióxido de nitrógeno (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de los dos dispositivos ( tanto para los distribuidos comercialmente, como para los construidos).

$$S = \frac{D_T * a}{L} \quad (2)$$

*Donde:*

$D_T$  = coeficiente de difusión del gas ( $\text{cm}^2/\text{min}$ ).

$a$  = un área de sección transversal ( $\text{cm}^2$ ).

$L$  = longitud del tubo (cm).

Para la determinación del cociente de difusión ( $D_T$ ) se tomó en cuenta que existe una dependencia de la temperatura, dicha dependencia se expresa en la **Ec. (3)**.

$$D_T = D_{298}(T)^{1.75}(298.15)^{-1.75} \quad (3)$$

*Donde:*

$D_{298}$  = coeficiente de difusión de  $\text{NO}_2$  a través del aire a 298.15K y a 1 atm ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ).

$T$  = promedio de temperatura en el periodo de muestreo (K).<sup>2,13</sup>

Para considerar el valor  $D_{298}$  a utilizar para  $\text{NO}_2$ , se ha reportado que directamente nunca ha sido medido en parte debido posiblemente a su dimerización a  $\text{N}_2\text{O}_4$ . Pero el valor preferido de  $D_{298}$  para  $\text{NO}_2$ , con una incertidumbre de  $\pm 10\%$ , es de  $1.36 * 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  a  $0^\circ\text{C}$  y 1 atm. La corrección de éste a  $21.1^\circ\text{C}$ , según lo recomendado por *Massman (1998)* da un valor de  $D_{298}$  de  $0.154 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ .<sup>24</sup>

Una vez evaluado dicho aspecto, se determinó los valores de  $D_T$  reemplazando en  $D_{298}$  el valor de  $0.154 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$  y en  $T$  (promedio de temperatura en el periodo de muestreo) los valores promedio de temperatura en la ciudad de Arequipa. En la **TABLA 10**, se muestran los resultados obtenidos de  $D_T$  según los meses monitoreados.

Con los valores de  $D_T$ , mostrados en la **TABLA 10**, los valores del largo de los dispositivos (7.40 cm) y el diámetro de la sección transversal (0.95 cm, siendo entonces el radio de 0.48 cm y una área de  $0.71 \text{ cm}^2$ ) se determinó el cociente de captación ( $S$ ) para cada periodo de monitoreo. Los resultados, para cada mes y en distintas unidades, se muestran en la **TABLA 11**.

**TABLA 10.**Resultados obtenidos de  $D_T$ .

Mes	Temperatura media promedio (°C)	Temperatura media promedio (K)	$D_T$ (cm <sup>2</sup> /s)
AGOSTO	14.10	287.25	0.144
OCTUBRE	13.40	286.55	0.144
NOVIEMBRE	14.50	287.65	0.145
DICIEMBRE	14.30	287.45	0.144
ENERO	13.90	287.05	0.144
FEBRERO	13.00	286.15	0.143

*Fuente: Elaboración propia.*

Se puede deducir, entonces, que son 5 los factores que permitieron la determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno capturado por los dispositivos. Dos de ellos (el área de la sección transversal y el largo del tubo) son parámetros físicos relacionados con la geometría del dispositivo y son independientes del analito, en cuanto al cociente de difusión ( $D_T$ ) es una propiedad específica de cada gas y es independiente de la forma del dispositivo.<sup>28</sup>

**TABLA 11.** Cocientes de captación ( $S$ ) hallados.

Mes	Cociente de captación (cm <sup>3</sup> /s)	Cociente de captación (ml/min)
AGOSTO	0.014	0.829
OCTUBRE	0.014	0.826
NOVIEMBRE	0.014	0.831
DICIEMBRE	0.014	0.830
ENERO	0.014	0.828
FEBRERO	0.014	0.824

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 1.2.4.3. *Determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )*

Una vez obtenidos los valores del cociente de captación ( $S$ ) se determinó las concentraciones respectivas de  $\text{NO}_2$  en los dispositivos, tanto en los construidos como en los distribuidos.

Previamente, se determinó el número de horas cumplidas al término de la exposición de los dispositivos. Para ello, se utilizó los datos anotados en el Registro de Campo (RC) (ver dichos datos de todos los meses monitoreados y los valores de la suma del tiempo de exposición de los dispositivos, expresados en horas, en **ANEXO 11**) y se hizo el cálculo respectivo haciendo uso del Programa de Microsoft Office Excel.

Posteriormente, se hizo el reemplazo respectivo en la **Ec. (1)** y los resultados obtenidos para los dispositivos distribuidos comercialmente se muestran en las **TABLAS 12 – 17** (ver **FIGURA 17**); por otra parte, los resultados obtenidos para los dispositivos construidos se muestran en la **TABLAS 18 – 23** (ver **FIGURA 18**). Como se observa, en las tablas mencionadas en este párrafo, se determinó la media aritmética<sup>29</sup> (ver **TABLAS 24 y 25**).

Se halló la media aritmética ya que ello es considerado en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (**Decreto Supremo N° 074-2001-PCM**) y los niveles que establecen como límites están dados de acuerdo a una media aritmética.

**TABLA 12.**Resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **AGOSTO - 2011**. Dispositivos usados: distribuidos comercialmente.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	1	2	3
Puesto de Salud – Edificadores Misti	18.94	18.94	14.80
Óvalo San Lázaro – Cercado	91.06	85.34	87.86
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	53.32	52.74	16.00
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	20.47	20.47	20.21
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	39.12	37.58	33.99
Pueblo Joven – Independencia	22.59	24.12	22.95
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	49.81	45.70	47.71
Puesto de Salud Manuel Prado	38.77	39.85	37.85
U.C.S.M	45.33	47.44	45.05
San José de Tiabaya	1.56	2.64	1.53

*Fuente: Elaboración propia.*

**TABLA 13.**Resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **OCTUBRE - 2011**. Dispositivos usados: distribuidos comercialmente.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	1	2	3
Puesto de Salud – Edificadores Misti	12.41	11.92	12.76
Óvalo San Lázaro – Cercado	59.69	74.52	74.26
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	28.10	45.09	39.62
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	15.25	11.59	15.96
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	25.36	26.38	24.44
Pueblo Joven – Independencia	15.89	16.59	20.51
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	31.90	35.79	33.02
Puesto de Salud Manuel Prado	27.25	29.54	28.16
U.C.S.M	28.65	26.33	27.35
San José de Tiabaya	3.49	1.61	1.10

*Fuente: Elaboración propia.*

**TABLA 14.** Resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **NOVIEMBRE - 2011**. Dispositivos usados: distribuidos comercialmente.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	1	2	3
Puesto de Salud – Edificadores Misti	18.89	18.89	14.76
Óvalo San Lázaro – Cercado	90.84	85.13	87.65
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	53.19	52.61	55.84
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	20.42	20.44	20.16
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	39.02	37.49	33.91
Pueblo Joven – Independencia	22.53	24.06	22.89
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	49.69	45.58	47.59
Puesto de Salud Manuel Prado	38.67	39.75	37.76
U.C.S.M	43.49	47.33	44.94
San José de Tiabaya	1.56	2.64	1.53

*Fuente: Elaboración propia.*

**TABLA 15.** Resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **DICIEMBRE - 2011**. Dispositivos usados: distribuidos comercialmente.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	1	2	3
Puesto de Salud – Edificadores Misti	16.46	17.12	14.41
Óvalo San Lázaro – Cercado	71.03	71.78	63.10
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	31.93	34.71	31.44
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	17.67	17.64	19.60
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	24.42	22.77	23.86
Pueblo Joven – Independencia	19.96	21.08	20.05
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	27.96	26.82	28.08
Puesto de Salud Manuel Prado	24.06	26.90	27.20
U.C.S.M	27.91	27.76	29.10
San José de Tiabaya	2.26	2.30	1.96

*Fuente: Elaboración propia.*

**TABLA 16.**Resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **ENERO – 2012**. Dispositivos usados: distribuidos comercialmente.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	1	2	3
Puesto de Salud – Edificadores Misti	14.62	16.51	16.96
Óvalo San Lázaro – Cercado	64.26	58.11	76.63
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	26.74	26.32	30.26
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	21.79	17.17	19.40
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	25.40	20.30	26.13
Pueblo Joven – Independencia	21.87	19.27	18.70
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	22.80	23.86	20.21
Puesto de Salud Manuel Prado	23.60	24.55	30.17
U.C.S.M	23.39	27.23	26.71
San José de Tiabaya	1.46	0.69	1.06

*Fuente: Elaboración propia.*

**TABLA 17.**Resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **FEBRERO - 2012**. Dispositivos usados: distribuidos comercialmente.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	1	2	3
Puesto de Salud – Edificadores Misti	18.85	19.45	19.41
Óvalo San Lázaro – Cercado	68.31	56.01	64.19
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	22.85	26.96	24.25
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	21.08	19.80	22.69
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	22.79	25.45	21.49
Pueblo Joven – Independencia	17.01	19.00	19.81
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	20.33	21.32	18.56
Puesto de Salud Manuel Prado	24.52	29.78	23.37
U.C.S.M	22.89	20.20	22.89
San José de Tiabaya	0.96	0.78	0.56

*Fuente: Elaboración propia.*

**TABLA 18.** Resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **AGOSTO - 2011**. Dispositivos usados: modelo construido.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	1	2	3
Puesto de Salud – Edificadores Misti	18.81	18.39	17.85
Óvalo San Lázaro – Cercado	70.43	59.87	63.52
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	44.30	46.31	44.49
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	20.53	16.62	25.04
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	32.13	30.97	35.85
Pueblo Joven – Independencia	2.07	3.88	4.38
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	40.01	36.46	40.44
Puesto de Salud Manuel Prado	31.04	31.81	28.41
U.C.S.M	41.46	34.58	39.85
Instituto Geofísico de la U.N.S.A.Characato	1.78	1.88	2.17

*Fuente: Elaboración propia.*

**TABLA 19.** Resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **OCTUBRE - 2011**. Dispositivos usados: modelo construido.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	1	2	3
Puesto de Salud Edificadores Misti	19.17	18.78	19.86
Óvalo San Lázaro Cercado	38.11	106.56	93.02
Av. Miguel Forga - Senati Parque Industrial	49.49	51.59	48.55
Centro de Salud Miguel Grau Zona B	18.34	19.80	18.51
Puesto de Salud 13 de Enero J.L.B.y R.	29.01	34.10	31.07
Pueblo Joven Independencia	22.38	22.59	24.37
Vía de la salud S/N (estación PRAL)	40.10	41.43	42.11
Puesto de Salud Manuel Prado	32.94	28.26	33.09
U.C.S.M	41.23	41.57	42.94
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	1.13	0.72	0.36

*Fuente: Elaboración propia.*

**TABLA 20.** Resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **NOVIEMBRE - 2011**. Dispositivos usados: modelo construido.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	1	2	3
Puesto de Salud – Edificadores Misti	12.08	16.58	11.26
Óvalo San Lázaro – Cercado	67.61	54.60	71.69
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	29.03	24.74	25.34
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	14.84	14.50	15.97
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	20.40	20.32	21.19
Pueblo Joven – Independencia	16.37	12.79	14.40
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	24.49	28.38	19.59
Puesto de Salud Manuel Prado	31.19	17.12	24.23
U.C.S.M	28.94	27.67	29.40
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	1.09	1.44	0.98

*Fuente: Elaboración propia.*

**TABLA 21.** Resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **DICIEMBRE - 2011**. Dispositivos usados: modelo construido.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	1	2	3
Puesto de Salud Edificadores Misti	10.94	18.11	17.15
Óvalo San Lázaro Cercado	51.38	24.64	50.95
Av. Miguel Forga - Senati Parque Industrial	11.46	16.56	14.14
Centro de Salud Miguel Grau Zona B	16.58	15.12	13.66
Puesto de Salud 13 de Enero J.L.B.y R.	18.11	16.90	17.17
Pueblo Joven Independencia	20.66	17.40	21.11
Vía de la salud S/N (estación PRAL)	16.63	14.40	16.52
Puesto de Salud Manuel Prado	18.30	18.66	25.89
U.C.S.M	15.12	19.52	19.96
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	1.82	2.00	2.35

*Fuente: Elaboración propia.*

**TABLA 22.**Resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **ENERO - 2012**. Dispositivos usados: modelo construido.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	1	2	3
Puesto de Salud Edificadores Misti	12.83	17.09	9.79
Óvalo San Lázaro Cercado	57.59	62.13	68.85
Av. Miguel Forga - Senati Parque Industrial	25.35	14.23	30.36
Centro de Salud Miguel Grau Zona B	21.39	17.16	16.30
Puesto de Salud 13 de Enero J.L.B.y R.	22.79	20.59	13.78
Pueblo Joven Independencia	9.76	10.34	6.75
Vía de la salud S/N (estación PRAL)	10.10	26.36	18.77
Puesto de Salud Manuel Prado	20.15	25.62	21.51
U.C.S.M	29.03	9.46	20.63
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	3.51	5.67	1.73

*Fuente: Elaboración propia.*

**TABLA 23.**Resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **FEBRERO - 2012**. Dispositivos usados: modelo construido.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	1	2	3
Puesto de Salud Edificadores Misti	20.88	12.49	14.73
Óvalo San Lázaro Cercado	83.40	63.95	78.38
Av. Miguel Forga - Senati Parque Industrial	17.15	31.85	25.37
Centro de Salud Miguel Grau Zona B	22.31	13.47	18.92
Puesto de Salud 13 de Enero J.L.B.y R.	29.43	21.80	14.83
Pueblo Joven Independencia	23.93	19.97	22.34
Vía de la salud S/N (estación PRAL)	11.64	17.26	7.48
Puesto de Salud Manuel Prado	19.64	23.72	26.31
U.C.S.M	20.32	25.16	14.48
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	2.89	1.31	0.97

*Fuente: Elaboración propia.*

**TABLA 24.**Media aritmética de resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Dispositivos usados: distribuidos comercialmente.

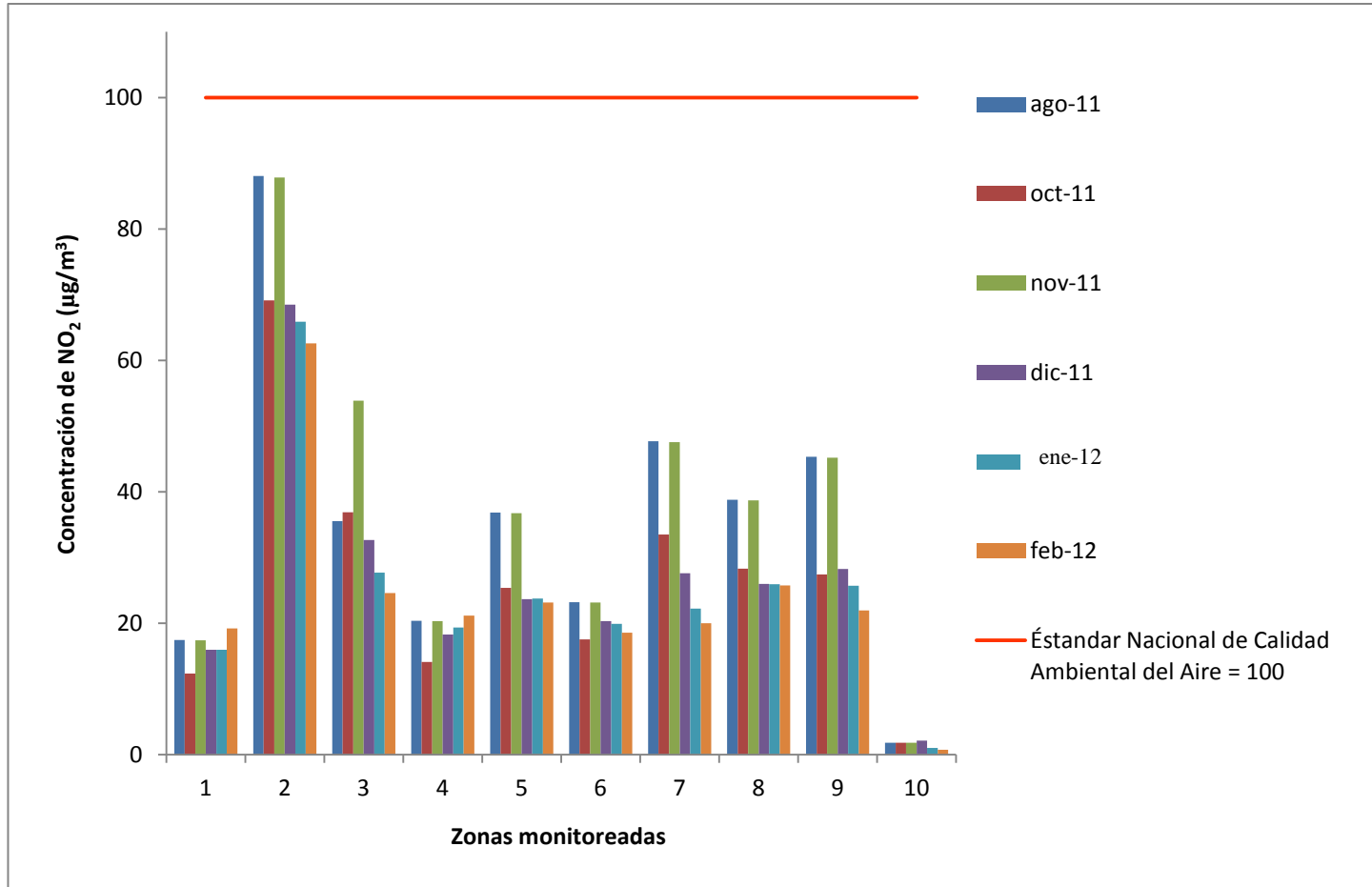
Zonas de Monitoreo	2011				2012	
	AGOSTO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO
Puesto de Salud – Edificadores Misti	17.56 ± 2.39	12.36 ± 0.42	17.52 ± 2.39	16.00 ± 1.42	16.03 ± 1.24	19.24 ± 0.33
Óvalo San Lázaro – Cercado	88.09 ± 2.87	69.49 ± 8.49	87.87 ± 2.86	68.63 ± 4.81	66.33 ± 9.44	62.83 ± 6.26
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	40.69 ± 21.38	37.61 ± 8.67	53.88 ± 1.72	32.69 ± 1.76	27.77 ± 2.16	24.68 ± 2.09
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	20.39 ± 0.15	14.26 ± 2.35	20.34 ± 0.15	18.30 ± 1.12	19.46 ± 2.31	21.19 ± 1.45
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	36.90 ± 2.63	25.39 ± 0.97	36.81 ± 2.62	23.68 ± 0.84	23.94 ± 3.18	23.24 ± 2.02
Pueblo Joven – Independencia	23.22 ± 0.80	17.66 ± 2.49	23.16 ± 0.80	20.37 ± 0.62	19.95 ± 1.69	18.61 ± 1.44
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	47.74 ± 2.06	33.57 ± 2.01	47.62 ± 2.05	27.62 ± 0.70	22.29 ± 1.88	20.07 ± 1.40
Puesto de Salud Manuel Prado	38.82 ± 1.00	28.32 ± 1.15	38.73 ± 1.00	26.05 ± 1.73	26.11 ± 3.55	25.89 ± 3.42
U.C.S.M	45.36 ± 1.94	27.44 ± 1.16	45.25 ± 1.94	28.26 ± 0.74	25.77 ± 2.09	22.00 ± 1.55
San José de Tiabaya	1.91 ± 0.63	2.07 ± 1.26	1.91 ± 0.63	2.17 ± 0.19	1.07 ± 0.38	0.77 ± 0.20

Fuente: Elaboración propia.

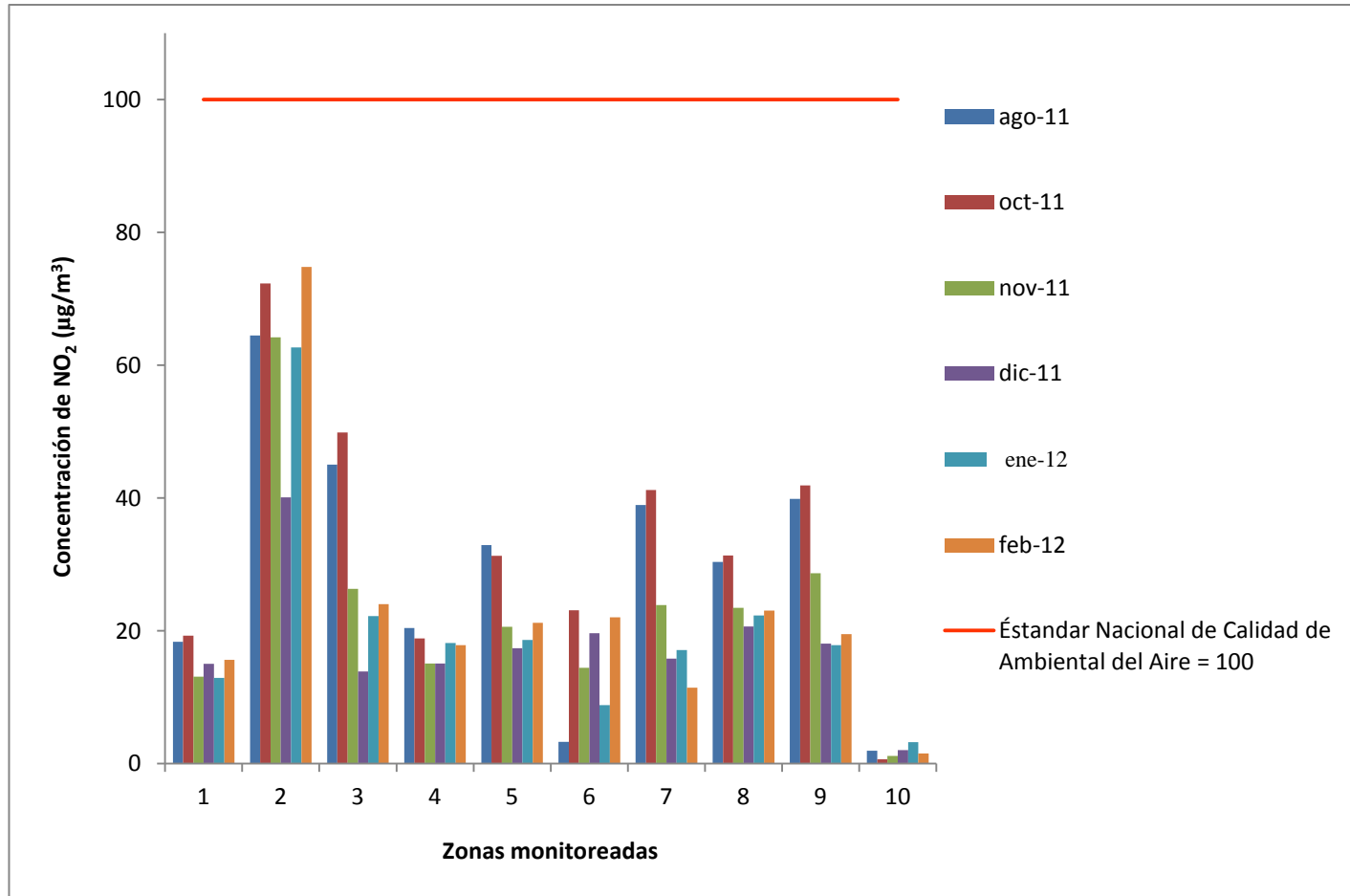
**TABLA 25.**Media aritmética de resultados de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Dispositivos usados: modelo construido.

Zonas de Monitoreo	2011				2012	
	AGOSTO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO
Puesto de Salud Edificadores Misti	18.35 $\pm$ 0.48	19.27 $\pm$ 0.55	13.31 $\pm$ 2.86	15.40 $\pm$ 3.89	13.24 $\pm$ 3.66	16.03 $\pm$ 4.34
Óvalo San Lázaro Cercado	64.61 $\pm$ 5.36	79.23 $\pm$ 36.25	64.63 $\pm$ 8.93	42.32 $\pm$ 15.32	62.85 $\pm$ 5.66	75.24 $\pm$ 10.10
Av. Miguel Forga - Senati Parque Industrial	45.03 $\pm$ 1.11	49.88 $\pm$ 1.56	26.37 $\pm$ 2.32	14.05 $\pm$ 2.55	23.31 $\pm$ 8.25	24.79 $\pm$ 7.37
Centro de Salud Miguel Grau Zona B	20.73 $\pm$ 4.21	18.88 $\pm$ 0.80	15.10 $\pm$ 0.77	15.12 $\pm$ 1.46	18.28 $\pm$ 2.72	18.23 $\pm$ 4.46
Puesto de Salud 13 de Enero J.L.B.y R.	32.98 $\pm$ 2.55	31.39 $\pm$ 2.56	20.64 $\pm$ 0.48	17.40 $\pm$ 0.64	19.05 $\pm$ 4.70	22.02 $\pm$ 7.30
Pueblo Joven Independencia	3.44 $\pm$ 1.21	23.11 $\pm$ 1.09	14.52 $\pm$ 1.79	19.73 $\pm$ 2.02	8.95 $\pm$ 1.93	22.08 $\pm$ 1.99
Vía de la salud S/N (estación PRAL)	38.97 $\pm$ 2.19	41.21 $\pm$ 1.02	24.15 $\pm$ 4.40	15.85 $\pm$ 1.25	18.41 $\pm$ 8.14	12.12 $\pm$ 4.91
Puesto de Salud Manuel Prado	30.42 $\pm$ 1.78	31.43 $\pm$ 2.75	24.18 $\pm$ 7.03	20.95 $\pm$ 4.28	22.43 $\pm$ 2.85	23.23 $\pm$ 3.36
U.C.S.M	38.63 $\pm$ 3.60	41.91 $\pm$ 0.90	28.67 $\pm$ 0.90	18.20 $\pm$ 2.68	19.71 $\pm$ 9.82	19.99 $\pm$ 5.35
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	1.94 $\pm$ 0.20	0.74 $\pm$ 0.39	1.17 $\pm$ 0.24	2.06 $\pm$ 0.26	3.64 $\pm$ 1.97	1.72 $\pm$ 1.03

Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 17.** Concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en las zonas monitoreadas por un periodo de 6 meses. Los dispositivos utilizados para el monitoreo fueron los distribuidos por la empresa Klepel Consulting S.A.C. (adquiridos por la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental de Arequipa).



**FIGURA 18.** Concentración de dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en las zonas monitoreadas por un periodo de 6 meses. Los dispositivos utilizados para el monitoreo fueron los modelos construidos y presentados en el presente trabajo de investigación.

Para el caso de la **FIGURAS 17 y 18**, el eje  $x$  muestra de forma enumerada las zonas de muestreo; las cuales de acuerdo a la enumeración se listan en la **TABLA 26**.

**TABLA 26.** Enumeración de zonas de monitoreo para las **FIGURAS 19 y 20**.

<b>Zonas de Monitoreo</b>	<b>Enumeración</b>
Puesto de Salud – Edificadores Misti	<b>1</b>
Óvalo San Lázaro – Cercado	<b>2</b>
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	<b>3</b>
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	<b>4</b>
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	<b>5</b>
Pueblo Joven – Independencia	<b>6</b>
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	<b>7</b>
Puesto de Salud Manuel Prado	<b>8</b>
U.C.S.M	<b>9</b>
Blancos de Campo	<b>10</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se observa en la **FIGURAS 17 y 18**, ninguna de las concentraciones obtenidas para ambos casos evaluados (tanto en el monitoreo donde se utilizó los dispositivos distribuidos y los modelos construidos) sobrepasan el valor estándar de calidad establecido.

La zona que muestra una mayor concentración de dióxido de nitrógeno (con un valor de  $88.09 \pm 2.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) es la número **2 (Óvalo San Lázaro – Cercado)**. Ello debido, posiblemente, a su ubicación. Lo siguiente es una descripción de San Lázaro, para identificar a que se debe posiblemente dicha concentración de dióxido de nitrógeno presente: se encuentra ubicado al Nor-Oeste de la ciudad de Arequipa y se localiza próxima al área central; predominan las construcciones tradicionales, la distribución en manzanas irregulares y callejones muy estrechos. Tiene dos zonas separadas por una quebrada, una de ellas está cruzada por **avenidas densamente transitadas por vehículos** y por locales comerciales diversos. Por otro lado, a pesar de que existe una

gran cantidad de unidades de transporte con motores a gasolina, aquellos destinados al transporte público de Arequipa están equipados predominantemente con motores diesel (el cual es una fuente alta de emisiones de dióxido de nitrógeno).

Debido a este último aspecto mencionado, es probable que la alta concentración de dióxido de nitrógeno se deba principalmente a las emisiones de la gran cantidad de vehículo.<sup>1,30</sup>

Pero lo contrario, de lo analizado en el anterior párrafo, ocurre en la zona enumerada con **1 (Puesto de Salud – Edificadores Misti)**. En dicha zona la concentración máxima monitoreada fue de  $19.27 \pm 0.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ello debido posiblemente a que es una zona con menor presencia vehicular a diferencia del Óvalo San Lázaro – Cercado.

Por otro lado en las **FIGURAS 17 y 18**, se puede observar también que se rigen por un comportamiento similar en todos los meses monitoreados; pero para confirmar que existía una semejanza significativa se realizó el análisis estadístico. Para ello, primero se aplicó el contraste **F** y luego se utilizó el contraste **t** (t-student).<sup>31,32</sup>

#### *1.2.4.4. Comparación estadística de resultados obtenidos*

El análisis estadístico se realizó a un nivel de confianza del 95%. Para las conclusiones de la existencia o no de diferencias, se consideró las probabilidades de diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) y de diferencia altamente significativa ( $p < 0.00001$ ).

Los resultados considerados, en cada mes monitoreado, para el análisis estadístico realizado en el Programa de Microsoft Office Excel se muestran en las **TABLAS 27 - 32**. Por otro lado, para ambos casos, el análisis completo dado por dicho programa se muestra en **ANEXO 12**.

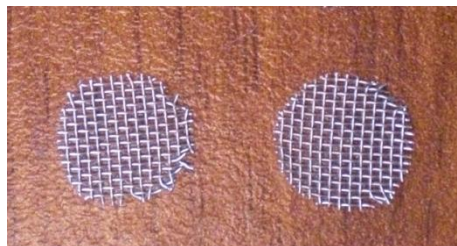
**TABLA 27.**Resultados de comparación estadística de dispositivos contruidos frente a los distribuidos comercialmente. Análisis estadístico del mes de **AGOSTO - 2011**.

Enumeración de zonas de monitoreo	Valor de F practico	Valor crítico de F	Tipo de varianza	Probabilidad (para dos colas)	Significancia resultante por probabilidad
1	24.55	19	Heterogéneas	0.631	<i>a</i>
2	3.51		Homogéneas	0.003	<i>b</i>
3	372.22		Heterogéneas	0.759	<i>a</i>
4	758.60		Heterogéneas	0.901	<i>a</i>
5	1.07		Homogéneas	0.138	<i>a</i>
6	2.30		Homogéneas	0.000	<i>b</i>
7	1.13		Homogéneas	0.007	<i>b</i>
8	3.18		Homogéneas	0.002	<i>b</i>
9	3.43		Homogéneas	0.046	<i>b</i>
10	10.14		Homogéneas	0.939	<i>a</i>

*a: No existe diferencia estadísticamente significativa, b: Existe diferencia estadísticamente significativa.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En la tabla correspondiente al mes de **Agosto (TABLA 27)**, se observa que únicamente fueron 5 las zonas las cuales sus análisis de concentración ( en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) arrojaron como resultados que no existía diferencia estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95%, ello se debe probablemente al uso de rejillas deformes (ver **FIGURA 19**) o debido al material de la rejillas (ambos aspectos propios únicamente de los dispositivos contruidos, ya que las rejillas de los dispositivos que son comercialmente distribuidos son no deformes y de acero inoxidable).



**FIGURA 19.**Rejillas deformes de acero inoxidable de menor calidad.

Por los resultados mencionados en el párrafo anterior, para los dispositivos contruidos en su composición se utilizó nuevas rejillas no deformes; pero sí del mismo material. Los resultados obtenidos son los que se muestran para el mes de **Octubre (TABLA 28)**. En dicha Tabla se observa que para este mes, únicamente fueron 4 las zonas cuyas concentraciones (del análisis de los dispositivos contruidos frente a los distribuidos comercialmente) no poseían diferencia estadística significativa (ello a un nivel de confianza del 95%), ello se debió posiblemente al material de las rejillas utilizadas para los dispositivos de contruidos.

**TABLA 28.** Resultados de comparación estadística de dispositivos contruidos frente a los distribuidos comercialmente. Análisis estadístico del mes de **OCTUBRE - 2011**.

Enumeración de zonas de monitoreo	Valor de F practico	Valor crítico de F	Tipo de varianza	Probabilidad (para dos colas)	Significancia resultante por probabilidad
1	1.70	19	Homogéneas	0.000	<i>b</i>
2	18.25		Homogéneas	0.674	<i>a</i>
3	31.02		Heterogéneas	0.137	<i>a</i>
4	8.66		Homogéneas	0.037	<i>b</i>
5	6.91		Homogéneas	0.019	<i>b</i>
6	5.21		Homogéneas	0.025	<i>b</i>
7	3.86		Homogéneas	0.004	<i>b</i>
8	5.67		Homogéneas	0.144	<i>a</i>
9	1.65		Homogéneas	0.000	<i>b</i>
10	10.59		Homogéneas	0.156	<i>a</i>

*a: No existe diferencia estadísticamente significativa, b: Existe diferencia estadísticamente significativa.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Para evaluarla posible influencia del reutilizar las rejillas, para el mes de **Noviembre** se trabajó con rejillas usadas en el mes de Octubre (rejillas deformes y de acero inoxidable de menor calidad) pero limpias. Los resultados se muestran en la **TABLA 29**, de la cual se puede observar que fueron únicamente tres zonas las que

muestran que no existe diferencia significativa a un nivel de confianza del 95%. Dichas rejillas utilizadas, después del análisis respectivo y de la limpieza mostraron cierto deterioro; lo cual se deba probablemente a su material y ello sirvió para conocer que las rejillas de acero inoxidable de menor calidad no pueden ser utilizadas más de dos veces, muy por el contrario las rejillas utilizadas para los dispositivos distribuidos comercialmente no mostraron desgaste alguno.

**TABLA 29.** Resultados de comparación estadística de dispositivos contruidos frente a los distribuidos comercialmente. Análisis estadístico del mes de **NOVIEMBRE - 2011.**

Enumeración de zonas de monitoreo	Valor de F practico	Valor crítico de F	Tipo de varianza	Probabilidad (para dos colas)	Significancia resultante por probabilidad
1	1.44	19	Homogéneas	0.122	<i>a</i>
2	9.75		Homogéneas	0.013	<i>b</i>
3	1.82		Homogéneas	0.000	<i>b</i>
4	25.39		Heterogéneas	0.007	<i>b</i>
5	29.33		Heterogéneas	0.009	<i>b</i>
6	5.06		Homogéneas	0.002	<i>b</i>
7	4.60		Homogéneas	0.001	<i>b</i>
8	49.76		Heterogéneas	0.071	<i>a</i>
9	4.66		Homogéneas	0.000	<i>b</i>
10	6.83		Homogéneas	0.131	<i>a</i>

*a: No existe diferencia estadísticamente significativa, b: Existe diferencia estadísticamente significativa.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Para el mes de **Diciembre**, los resultados se muestran en la **TABLA 30**. En dicho mes, se utilizó rejillas del mismo material usado en los anteriores meses para el armado de los dispositivos de modelo construido; pero nuevas (sin ser antes usadas) y no deformes. Es importante mencionar que las rejillas nuevas fueron previamente lavadas para poder ser utilizadas. Luego, en dicho mes se puede observar que solo 4

fueron las zonas que no muestran diferencia estadísticamente significativa en sus concentraciones obtenidas (ello a un nivel de confianza, también, del 95%).

**TABLA 30.** Resultados de comparación estadística de dispositivos contruidos frente a los distribuidos comercialmente. Análisis estadístico del mes de **DICIEMBRE - 2011**.

Enumeración de zonas de monitoreo	Valor de F practico	Valor crítico de F	Tipo de varianza	Probabilidad (para dos colas)	Significancia resultante por probabilidad
1	7.54	19	Homogéneas	0.814	<i>a</i>
2	10.16		Homogéneas	0.047	<i>b</i>
3	2.10		Homogéneas	0.000	<i>b</i>
4	1.70		Homogéneas	0.040	<i>b</i>
5	1.74		Homogéneas	0.000	<i>b</i>
6	10.57		Homogéneas	0.628	<i>a</i>
7	3.24		Homogéneas	0.000	<i>b</i>
8	6.09		Homogéneas	0.128	<i>a</i>
9	13.24		Homogéneas	0.003	<i>b</i>
10	1.99		Homogéneas	0.577	<i>a</i>

*a: No existe diferencia estadísticamente significativa, b: Existe diferencia estadísticamente significativa.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados obtenidos, entonces, para los meses hasta el momento evaluados (**Agosto, Octubre, Noviembre y Diciembre**) podrían afirmar que el material de las rejillas juega un papel importante en la capacidad de captación de los dispositivos, por ello se debe la variación de la concentración de dióxido de nitrógeno.

Antes de confirmar dicho aspecto mencionado en el anterior párrafo, se decidió instalar los dispositivos (para el siguiente mes, **Enero del 2012**) de forma intercalada, es decir ya no tres dispositivos contruidos frente a tres dispositivos comercialmente distribuidos; sino un dispositivo contruido al lado de un dispositivo comercialmente distribuido. Para el armado de los dispositivos de modelo contruido, se usó rejillas

del mismo material (de acero inoxidable de menor calidad) pero nuevas y para el caso de los distribuidos comercialmente no se hizo ninguna variación de las rejillas (para todos los meses monitoreados, en ningún momento se vario los componentes de los dispositivos comercialmente distribuidos e incluso sus rejillas fueron reutilizadas después de un previo y eficiente lavado). Los resultados para dicho mes se muestran en la **TABLA 31.**<sup>33</sup>

**TABLA 31.** Resultados de comparación estadística de dispositivos contruidos frente a los distribuidos comercialmente. Análisis estadístico del mes de **ENERO - 2012.**

Enumeración de zonas de monitoreo	Valor de F practico	Valor crítico de F	Tipo de varianza	Probabilidad (para dos colas)	Significancia resultante por probabilidad
1	8.70	19	Homogéneas	0.280	<i>a</i>
2	2.78		Homogéneas	0.613	<i>a</i>
3	14.57		Homogéneas	0.416	<i>a</i>
4	1.39		Homogéneas	0.600	<i>a</i>
5	2.19		Homogéneas	0.209	<i>a</i>
6	1.30		Homogéneas	0.002	<i>b</i>
7	18.77		Homogéneas	0.467	<i>a</i>
8	1.55		Homogéneas	0.234	<i>a</i>
9	22.15		Heterogéneas	0.405	<i>a</i>
10	26.72		Heterogéneas	0.157	<i>a</i>

*a: No existe diferencia estadísticamente significativa, b: Existe diferencia estadísticamente significativa.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se observa, en el mes de **Enero del 2012** únicamente una zona presentó que existía diferencia significativa de concentraciones. Esa zona presentó dicha diferencia, debido a que durante la recolección uno de los dispositivos de modelo construido perdió rejillas ya que la tapa que las contenía se desprendió. Por dichos resultados, se podría decir que el material de las rejillas no influye en la capacidad de captación y lo que probablemente afecte es la ubicación, la cual está relacionada a la

forma de ingreso de la velocidad del aire alrededor de la toma de muestra (dirección del viento).

Para averiguar entonces, si la reutilización de las rejillas de acero inoxidable de menor calidad (como componente de los dispositivos construidos) influía o no en la capacidad de captación; para el mes de **Febrero del 2012** se utilizó las rejillas empleadas en el mes anterior (previamente lavadas) y en los dispositivos distribuidos se continuo usando sus propias rejillas (también previamente lavadas). Los resultados para dicho mes se observan en la **TABLA 32**, para este mes al momento del armado se descarto las tapas que no cerraban eficientemente a presión.

**TABLA 32.** Resultados de comparación estadística de dispositivos construidos frente a los distribuidos comercialmente. Análisis estadístico del mes de **FEBRERO - 2012**.

Enumeración de zonas de monitoreo	Valor de F practico	Valor crítico de F	Tipo de varianza	Probabilidad (para dos colas)	Significancia resultante por probabilidad
1	39.17	19	Heterogéneas	0.368	<i>a</i>
2	2.60		Homogéneas	0.145	<i>a</i>
3	12.41		Homogéneas	0.982	<i>a</i>
4	9.43		Homogéneas	0.336	<i>a</i>
5	13.10		Homogéneas	0.794	<i>a</i>
6	1.92		Homogéneas	0.071	<i>a</i>
7	12.34		Homogéneas	0.054	<i>a</i>
8	1.03		Homogéneas	0.390	<i>a</i>
9	11.86		Homogéneas	0.566	<i>a</i>
10	26.32		Heterogéneas	0.254	<i>a</i>

*a: No existe diferencia estadísticamente significativa.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En la **TABLA 32**, se puede observar que no existió diferencia estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95%; lo cual afirma que **el material y el**

**reuso de las rejillas de acero inoxidable de menor calidad no afecta la capacidad de captación pero sí ésta se ve afectada por la ubicación de los dispositivos.** Ello es la probable respuesta a que en varios trabajos de investigación no solo utilizan tres dispositivos de exposición, sino más de tres y así de esta manera poder evaluar de forma completa las influencias que se dan cuando se determina dióxido de nitrógeno en el aire.<sup>5</sup>

Se ha reportado, también, el uso no solo de rejillas de acero inoxidable sino también el uso de membranas de polietileno. *Sekine et al.*, reportaron el uso de estas e hicieron un análisis relacionado a la influencia de la porosidad de la membrana y la influencia de la velocidad del viento; presentando así un nuevo diseño de dispositivo alternativo cuyas concentraciones obtenidas de dióxido de nitrógeno se compararon con las obtenidas con un analizador automático.<sup>34</sup>

Por otro lado, no solo se puede hacer el estudio de determinación de dióxido de nitrógeno por un periodo de aproximadamente un mes, como lo hicieron en el trabajo de investigación anteriormente mencionado y como se hizo en el presente estudio, sino también se puede hacer evaluaciones considerando periodos de 24 h como lo estudiaron *Liard et al.*, quienes reportaron resultados de 13 zonas por 6 meses.<sup>35</sup>

Con respecto a las concentraciones obtenidas durante los meses los Enero y Febrero del 2012, cuyos resultados no poseían diferencia estadísticamente significativa, la más elevada fue de la zona de Óvalo de San Lázaro ( con un valor de  $66.33 \pm 9.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el caso de los dispositivos distribuidos comercialmente y de  $75.24 \pm 10.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para los construidos). Dichas concentraciones son elevadas a comparación a lo reportado para la zona del Municipio Pereira (ciudad y municipio de la República de Colombia) en el 2009 (cuya concentración máxima trimestral fue de  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), ello debido posiblemente al método usado en dicha ciudad para la determinación dióxido de nitrógeno (se somete a la muestra recogida a una solución alcalina de arsenito de sodio) o debido a que los alrededores del Municipio Pereira

cuentan con áreas verdes amplias, con arboles (la presencia de arboles dificultan la difusión gaseosa).<sup>36</sup>

Muy por el contrario, ciudad de Rosario (Argentina) la concentración promedio máxima de dicho gas desde el mes de Agosto de 1998 a Octubre de 1999 fue de  $63.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y en Santa Fe fue de  $33.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se ha reportado que dichas concentraciones son altas debido a que el tránsito de vehículos es intenso en dichas zonas; pero aun así las concentraciones dadas a conocer en dichas zonas de Argentina son menores a las concentraciones arrojadas en los meses de Enero y Febrero del 2012 para la ciudad de Arequipa, ello debido posiblemente a que el tráfico vehicular en el Óvalo San Lázaro (Arequipa) es aún mayor.<sup>37</sup>

Por otro lado, si observamos las concentraciones obtenidas en la Av. Miguel Forga – Senati - Parque Industrial son de un valor máximo de  $24.68 \pm 2.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (para el mes de Febrero del 2012, usando los dispositivos distribuidos comercialmente) y de  $24.79 \pm 7.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (también para el mes de Febrero del 2012, usando los dispositivos construidos). Dicha zona también presenta tráfico vehicular e incluso es una zona industrial, pero presenta menores concentraciones a las obtenidas al Óvalo San Lázaro; ello debido posiblemente a que en la Av. Miguel Forga – Senati - Parque Industrial exista una gran difusión gaseosa debido a la presencia de edificaciones de baja altura y calles de ancho significativo.

### **1.3. DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE**

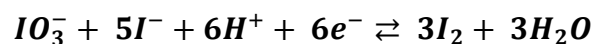
#### **1.3.1. Valoración de la solución 0.01 N de tiosulfato de sodio (Método potenciométrico)**

El método de titulación potenciométrica consiste en medir el potencial (voltaje) en una solución por medio de un electrodo como función de volumen de agente titulante. El

potencial que se mide se puede transformar a unidades de concentración de una especie en solución. Una de las ventajas del uso de potenciometría es que la determinación del punto final es mucho más preciso que el determinado con indicadores visuales.<sup>38</sup>

Por otro lado, la forma disponible usual del tiosulfato de sodio pentahidratado es como cristales con aspecto de terrones, parcialmente opacos por la pérdida de algo de su agua de cristalización. Es por esto que no es exacto preparar una solución estándar por pesada directa del sólido.<sup>31</sup>

Entonces, para la valoración de tiosulfato de sodio previamente se calculó el gasto teórico ( $V_{teórico}$ ) considerando la reacción parcial de reducción del yodato:<sup>39</sup>



Por la reacción anteriormente mencionada, el peso equivalente ( $PE$ ) del yodato de potasio se calculó aplicando la **Ec. (4)**. Para la determinación del peso del yodato ( $P$ ) en el volumen de alícuota medido se utilizó la **Ec. (5)**; con los valores obtenidos en las **Ec. (4)** y (5) se pudo determinar el volumen teórico ( $V_{teórico}$ ) del punto de equivalencia (ver **Ec. (6)**).

$$PE = \frac{\text{Peso formula}}{N^\circ \text{ electrones}} = \frac{214.02}{6} = 35.67 \frac{g}{eq} \quad (4)$$

$$P = \frac{p}{V} * A \quad (5)$$

$$V_{teórico} = \frac{P}{0.03567 \frac{g}{meq} * N} \quad (6)$$

*Donde:*

$P$  = peso del yodato de potasio en el volumen de alícuota medido (g).

$V$  = volumen final enrazado (mL).

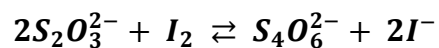
$p$  = peso de yodato de potasio disuelto en  $V$  (g).

$A$  = volumen de alícuota medido (mL).

$N$  = normalidad teórica del tiosulfato de sodio (meq/mL).

Entonces, siendo el peso teórico del yodato de potasio ( $p$ ) de 0.01 g disuelto en 25 mL de agua destilada ( $V$ ), de los cuales para la titulación se tomaron 2 mL de alícuota ( $A$ ); obteniendo así  $8 \times 10^{-4}$  g de yodato en la porción alícuota. Éste último valor obtenido, junto al peso equivalente ( $PE$ ) del yodato de 0.03567 g/meq y la normalidad teórica de 0.01 N, permitió obtener el gasto teórico de 2.27 mL.

Luego de hallar el gasto teórico, se prosiguió con la valoración haciendo uso de la estación potenciométrica TITRANDO 808. Para la valoración se preparó 25 mL de solución de tiosulfato de sodio (considerando los aspectos que se señalan en **ANEXO 1**). Luego, se midió 2 mL de la solución de yodato de potasio (cuya preparación se describe en **ANEXO B**) para ser trasvasada a un beaker de 100 mL, después se agregó aproximadamente 0.50 g de yoduro de potasio y se agitó hasta lograr disolverlo. Finalmente, se agregó 2 mL de ácido sulfúrico 1:1, se mezcló y se dejó en reposo por 5 minutos. La reacción que se produce se muestra a continuación:



Cumplido el periodo de reacción, se dio inicio a la titulación. Lo descrito anteriormente, se realizó por triplicado para el respectivo análisis estadístico y los resultados fueron reportados por la estación tal como se muestran en las **FIGURAS 20 - 22**. En dichas figuras se observa las curvas de titulación obtenidas (volumen en mL de tiosulfato de sodio vs. voltaje en mV) y en las cuales se señala al punto de equivalencia. Se utiliza el método gráfico mostrado en los reportes debido a que es el método más directo para hallar la posición del punto de inflexión en los datos de una titulación potenciométrica.<sup>31</sup>

## Result report

**Determination** Method . . . . . Valoracion Tiosulfato de Sodio  
 Last saved on . . . . . 2012-01-19 12:22:12 ver. 3  
 Method status . . . . . modified  
 Determ. time . . . . . 2012-01-20 10:45:00  
 Status of deter. . . . . original  
 Sample number . . . . . 1  
 User . . . . . Tiosulfato de sodio

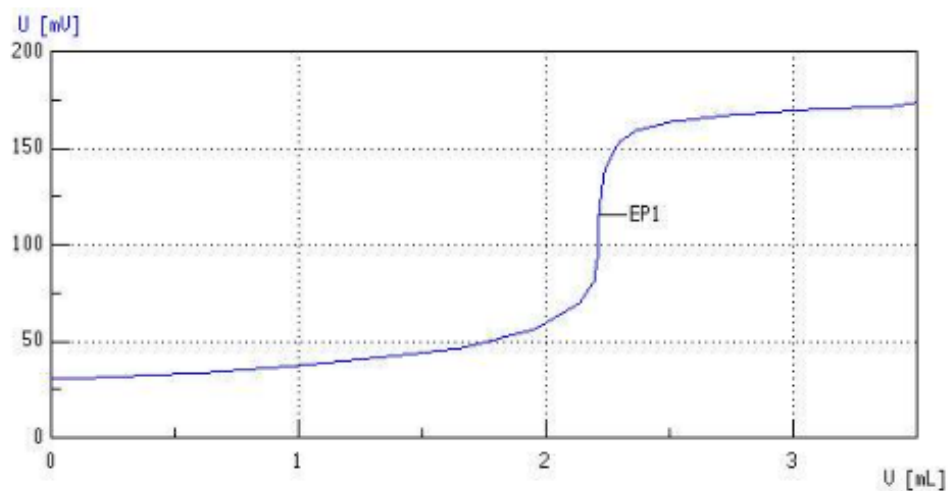
**Sample data** Identification 1 . . . . . Lec 1  
 Identification 2 . . . . . KI = 0.5008G  
 Sample size . . . . . 70 mL

**01 DET U** Dynamic U titration  
 Titration EP1 . . . . . 115,2 mV . . . . . 2,2103 mL  
 Stop volume reached

## Results

### Curve

01 DET U Dynamic U titration



**FIGURA 20.**Reporte resultante para la primera titulación para valoración de tiosulfato de sodio. Uso de estación potenciométrica TITRANDO 808 (software Titrandó ® versión 5.0).<sup>31</sup>

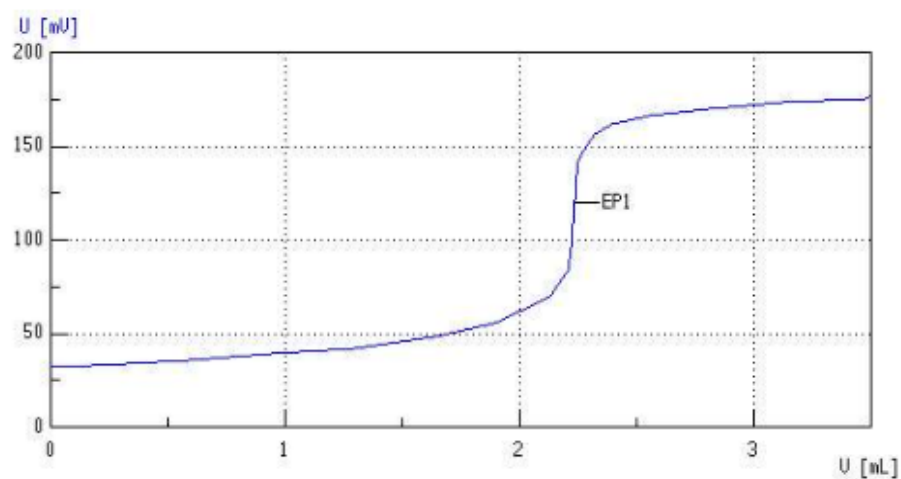
## Result report

<b>Determination</b>	Method . . . . . <b>Valoracion Tiosulfato de Sodio</b> Last saved on . . . . . 2012-01-19 12:22:12 ver. 3 Method status . . . . . modified Determin. time . . . . . 2012-01-20 11:08:13 Status of deter. . . . . original Sample number . . . . . 2 User . . . . . Tiosulfato de sodio
<b>Sample data</b>	Identification 1 . . . . . Lec 2 Identification 2 . . . . . KI = 0.5000 g Sample size . . . . . 70 mL
<b>01 DET U</b>	Dynamic U titration
Titration	EP1 . . . . . 120,2 mV . . . . . 2.2349 mL Stop volume reached

## Results

### Curve

01 DET U Dynamic U titration



**FIGURA 21.** Reporte resultante para la segunda titulación para valoración de tiosulfato de sodio. Uso de estación potenciométrica TITRANDO 808 (software Titrandó ® versión 5.0).<sup>31</sup>

### Result report

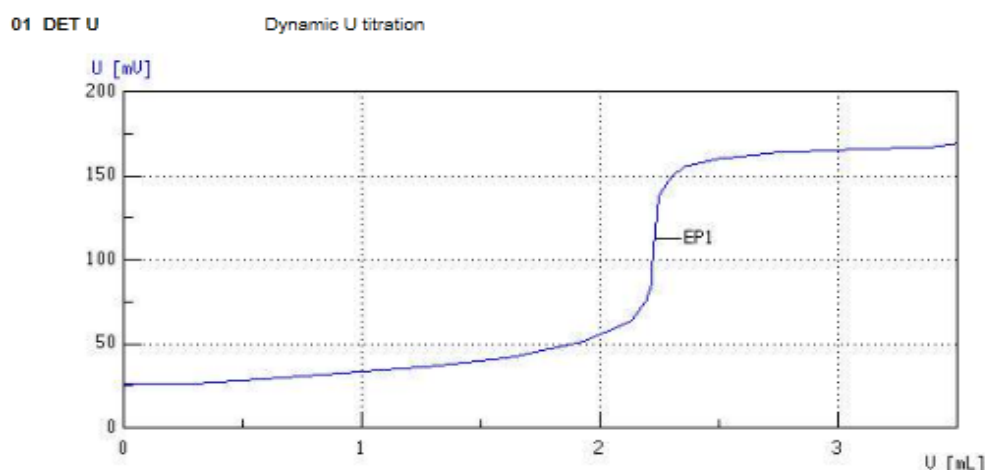
**Determination** Method . . . . . Valoracion Tiosulfato de Sodio  
 Last saved on . . . . . 2012-01-19 12:22:12 ver. 3  
 Method status . . . . . modified  
 Determ. time . . . . . 2012-01-20 11:29:36  
 Status of deter. . . . . original  
 Sample number . . . . . 4  
 User . . . . . Tiosulfato de sodio

**Sample data** Identification 1 . . . . . Lec 3  
 Identification 2 . . . . . KI = 0.5001 g  
 Sample size . . . . . 70 mL

**01 DET U** Dynamic U titration  
 Titration EP1 . . . . . 112,4 mV . . . . . 2.2315 mL  
 Stop volume reached

### Results

#### Curve



**FIGURA 22.** Reporte resultante para la tercera titulación para valoración de tiosulfato de sodio. Uso de estación potenciométrica TITRANDO 808 (software Titrandó ® versión 5.0).<sup>31</sup>

En la **TABLA 33** se muestran los tres gastos de la solución de tiosulfato de sodio (en mL) arrojadas por la estación potenciométrica TITRANDO 808.

**TABLA 33.** Resultados de titulación.

N° de Lectura	Gasto practico de solución de tiosulfato de sodio (mL)
1	2.2193
2	2.2349
3	2.2290

*Fuente: Elaboración propia.*

Luego, para la determinación de la normalidad práctica; se utilizó los gastos prácticos de la solución de tiosulfato de sodio (mL) mostrados en la tabla anterior y se los reemplazó en la **Ec. (7)**

$$N = \frac{P}{0.03567 * V_{practico}} \quad (7)$$

*Donde:*

$P$  = peso del yodato de potasio en el volumen de alícuota medido (g).

$V_{practico}$  = volumen practico (mL).

Se obtuvo entonces, los valores de normalidad y posteriormente para obtener la normalidad real se multiplicó los valores obtenidos en la normalidad práctica por el factor de corrección ( $FC$ ), cuya ecuación de este último es **Ec. (8)**.

$$FC = \frac{V_{teórico}}{V_{practico}} \quad (8)$$

*Donde:*

$V_{teórico}$  = volumen teórico hallado en **Ec. (7)** (mL).

$V_{practico}$  = volumen practico (mL).

Finalmente, los resultados de normalidad real se muestran en la **TABLA 34**. Luego, la normalidad promedio real de la solución de tiosulfato de sodio preparada fue de  $0.01 \pm 7.63 * 10^{-5}$  meq/mL.

**TABLA 34.** Valores de normalidad obtenidos.

Nº Medición	Normalidad practica (meq/mL)	Factor de corrección (FC)	Normalidad real (meq/mL)
1	0.01	1.02	0.01
2	0.01	1.01	0.01
3	0.01	1.02	0.01

*Fuente: Elaboración propia.*

### 1.3.2. Determinación de la concentración másica de dióxido de azufre en la solución de bisulfito de sodio

Para dicha determinación se utilizó como solución titulante la solución de tiosulfato de sodio valorada anteriormente (cuya normalidad real calculada fue de  $0.01 \pm 7.63 * 10^{-5}$  meq/mL).

Se preparó un blanco, para ello se midió 1 mL de agua destilada y se la introdujo en un beaker; luego, se adicionó 2 mL de solución de yodo (cuya preparación se muestra en **ANEXO B**) y se llevó a un volumen de aproximadamente 70 mL con agua destilada. Finalmente, se agitó y dejó reaccionar por 5 minutos. El mismo procedimiento se siguió para preparar la muestra (la cual fue la solución de 0.012 g/L de bisulfito de sodio preparado).

Cumplido el periodo de reacción, se dio inicio a la titulación. Las determinaciones se realizaron por triplicado y una muestra del trabajo en laboratorio de la titulación se presenta en la **FIGURA 23**.



**FIGURA 23.** Etapa de titulación para la valoración de la solución de bisulfito de sodio.

Un modelo de los reportes arrojados para el blanco se observa en la **FIGURA 24** y para el caso de la muestra en la **FIGURA 25**. En dichos reportes se grafica las curvas de titulación y en las cuales se señala el punto de equivalencia (PE).

```

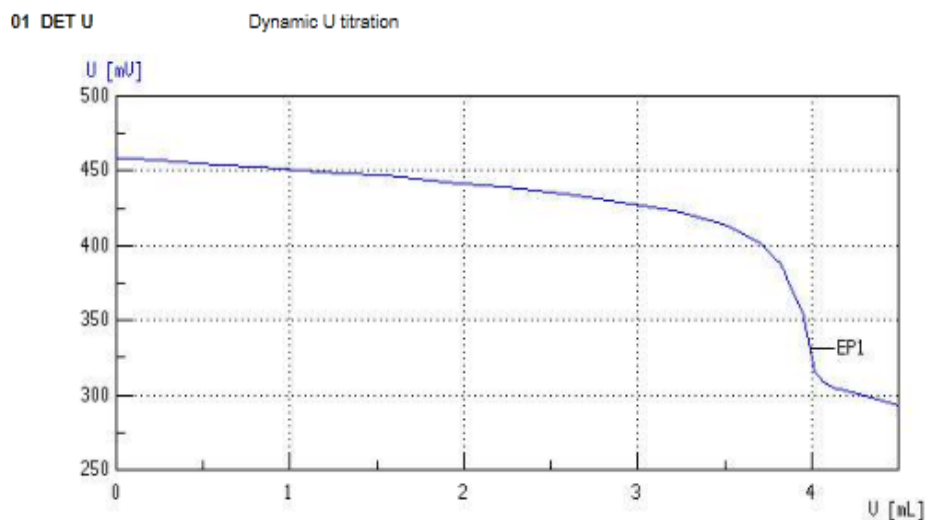
Determination      Method . . . . . Valoracion Tiosulfato de Sodio
                  Last saved on . . . . . 2012-01-19 12:22:12 ver. 3
                  Method status . . . . . modified
                  Determin. time . . . . . 2012-01-20 15:06:57
                  Status of deter. . . . . original
                  Sample number . . . . . 10
                  User . . . . . Disulfido de sodio

Sample data        Identification 1 . . . . . Lec 4
                  Identification 2 . . . . . Blanco 1mL
                  Sample size . . . . . 70 mL

01 DET U          Dynamic U titration
Titration         EP1 . . . . . 330,7 mV . . . . . 3,9923 mL
                  Stop volume reached
  
```

#### Results

#### Curve



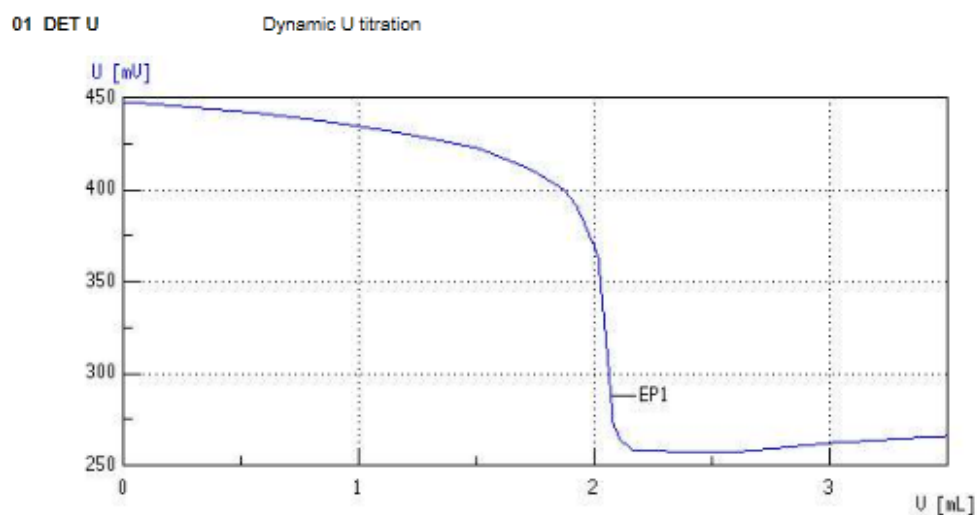
**FIGURA 24.**Reporte resultante para la valoración de bisulfito de sodio. Lectura del *blanco*.  
Uso de estación potenciométrica TITRANDO 808 (software Titrando ® versión 5.0).<sup>31</sup>

## Result report

<b>Determination</b>	Method . . . . .	<b>Valoracion Tiosulfato de Sodio</b>
	Last saved on . . . . .	2012-01-19 12:22:12 ver. 3
	Method status . . . . .	modified
	Determ. time . . . . .	2012-01-20 16:11:30
	Status of deter. . . . .	original
	Sample number . . . . .	15
	User . . . . .	Disulfito de sodio
<b>Sample data</b>	Identification 1 . . . . .	Lec 5
	Identification 2 . . . . .	Muestra1mL
	Sample size . . . . .	70 mL
<b>01 DET U</b>	Dynamic U titration	
Titration	EP1 . . . . .	287,7 mV . . . . . 2,0720 mL
	Stop volume reached	

## Results

### Curve



**FIGURA 25.**Reporte resultante para la valoración de bisulfito de sodio. Lectura de muestra. Uso de estación potenciométrica TITRANDO 808 (software Titrandó ® versión 5.0).<sup>31</sup>

En la **TABLA 35**, se muestra de forma ordenada los gastos de la solución de tiosulfato de sodio (de  $0.01 \pm 7.63 \cdot 10^{-5}$  meq/mL) tanto para el blanco y la muestra preparada.

**TABLA 35.** Resultados de titulación para la determinación de la SO<sub>2</sub> presente en la solución de bisulfito de sodio preparada (ver reportes resultantes de la medición 2 y 3 en ANEXO 16).

Nº Medición	Gasto de solución de tiosulfato de sodio para el blanco (mL)	Gasto de solución de tiosulfato de sodio para la muestra (mL)	Concentración de SO <sub>2</sub> (µg/mL)
1	3.9419	2.1310	598.72
2	3.9923	2.0720	634.89
3	4.0169	1.7434	751.66

*Fuente: Elaboración propia.*

Luego, la concentración másica de dióxido de azufre expresada en microgramos por mililitro en la solución de bisulfito de sodio, se calculó aplicando la **Ec. (9)**. Los resultados obtenidos, para cada medición, se muestran también en la **TABLA 35**; siendo la concentración másica real promedio de dióxido de azufre (en la solución de bisulfito de sodio) igual a 661.76 µg/mL.

$$C = \frac{(V_1 - V_2) * N * K}{V} \quad (9)$$

*Donde:*

$C$  = concentración de bisulfito de sodio (µg/mL).

$V_1$  = volumen de tiosulfato de sodio gastado para la titulación del blanco (mL).

$V_2$  = volumen de tiosulfato de sodio gastado para la titulación de la muestra (mL).

$N$  = normalidad hallada de la solución de tiosulfato de sodio (meq/mL).

$K$  = peso miliequivalente de SO<sub>2</sub>/µg (32 000).

$V$  = volumen de muestra (bisulfito de sodio) titulada (mL).

Después de la determinación de la concentración másica real de dióxido de azufre en la solución de bisulfito de sodio, se preparó la solución sulfito – TCM. Para ello, se tomó 1 mL de la solución de bisulfito de sodio valorada y se enrazó en una fiola de 50 mL con la solución de tetracloromercurato preparada. Dado a los volúmenes tomados y a los cálculos respectivos, en la fiola de 50 mL se obtuvo una concentración de 13.24 µg/mL de dióxido

de azufre, luego esta última solución se se almacenó a una temperatura de 6 a 7°C para luego poder ser usada.

### 1.3.3. Validación del método

#### 1.3.3.1. Preparación de la gráfica de calibración

Para realizar la gráfica de calibración, se trabajó con los volúmenes mostrados en la **TABLA 36**. De acuerdo a los volúmenes tomados de la solución de sulfito – TCM preparada en una fiola de 50 mL (cuya concentración hallada fue de 13.24 µg/mL de dióxido de azufre) y al volumen final de enrase (de 25 mL), se determinó la concentración de dióxido de azufre, dichos valores se muestran también en la **TABLA 36**.

**TABLA 36.** Volúmenes de soluciones para la calibración del método.

Estándar	Solución sulfito – TCM (mL)	Volumen de TCM (mL)	Concentración de SO <sub>2</sub> (µg/mL)
1	0.25	9.75	0.13
2	0.50	9.50	0.27
3	1.00	9.00	0.53
4	1.50	8.50	0.79
5	2.00	8.00	1.06

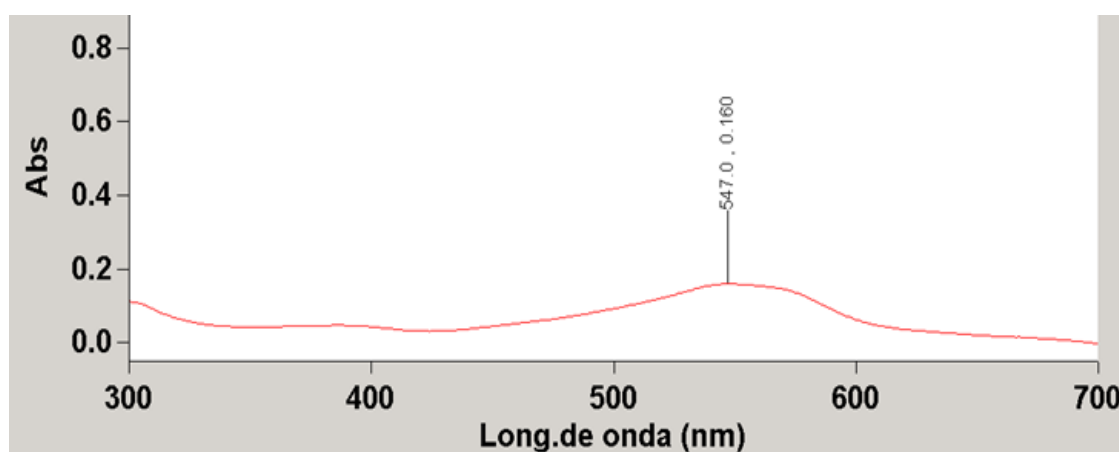
*Fuente: Elaboración propia.*

Luego, a los volúmenes mostrados en las **TABLA 36**, se les agregó otras soluciones para eliminar interferentes, para completar la reacción, etc. (como se describe en **ANEXO 1**).

Posteriormente, las soluciones homogenizadas, se dejaron en reposo por no menos de 30 minutos ni más de 60. Luego de dicho periodo, fueron enrazadas a un volumen

final de 25 mL para su respectiva lectura. De de la misma forma, se preparó un blanco.

Para la determinación de la longitud de onda óptima de trabajo, previamente se hizo un escaneo de la absorbancia de uno de las fiolas de concentración intermedia; es así que el equipo Espectrofotómetro visible Agilent Cary 60 proporcionó una longitud de onda de 547 nm (ver **FIGURA 26**). Para dicha determinación, se trabajó con un control de barrido simple y el escaneo se hizo en un rango de 700 a 300 nm.



**FIGURA 26.** Obtención de longitud optima de trabajo.

### *1.3.3.2. Análisis de los criterios de validación*

Por otro lado, para realizar la validación del método las determinaciones se hicieron por triplicado. Se consideró los mismos parámetros evaluados para la validación del método de determinación de dióxido de nitrógeno; los cuales son:

#### *a. Evaluación estadística de linealidad*

Para el análisis de dicho aspecto se determinó la **ecuación de la recta** y el **coeficiente de determinación**.

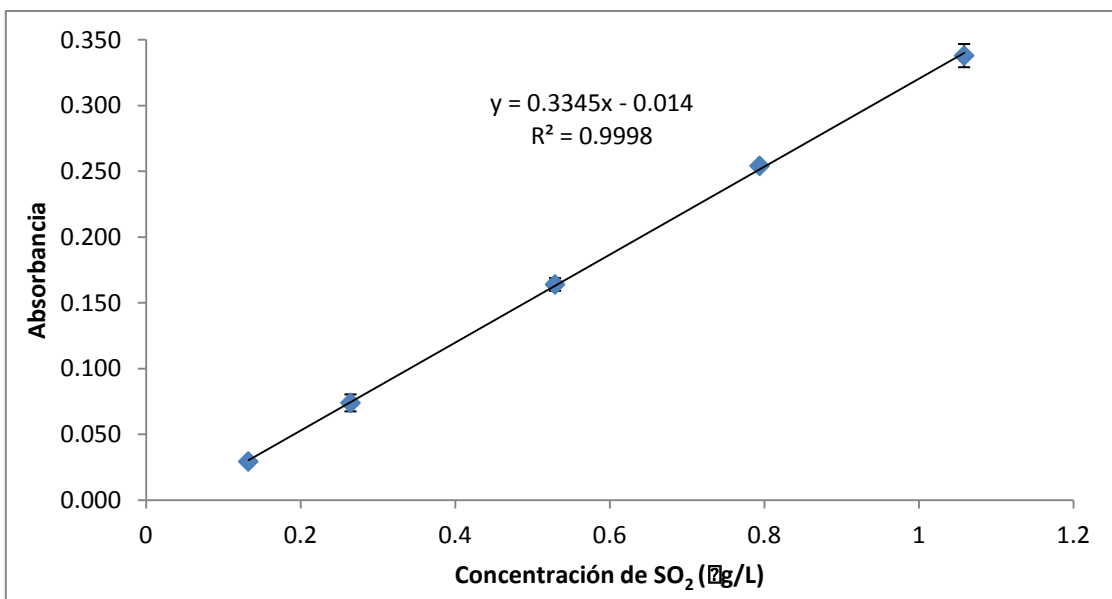
Luego de determinada la concentración de dióxido de azufre ( $\mu\text{g/mL}$ ) de acuerdo a los volúmenes tomados y la longitud de onda óptima se construyó la gráfica de calibración para la evaluación de la linealidad. La **TABLA 37**, muestra los resultados de absorbancia promedio en relación a la concentración de  $\text{SO}_2$  en  $\mu\text{g/mL}$  (para revisar las absorbancias obtenidas ver **ANEXO 17**). Los resultados fueron plasmados en la **FIGURA 27**.

**TABLA 37.** Absorbancias promedio y desviaciones estándar de resultados obtenidos para la determinación de linealidad.

N° de adición	Concentración de $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g/mL}$ )	Absorbancia promedio $\pm s$
1	0.13	$0.029 \pm 0.001$
2	0.27	$0.074 \pm 0.006$
3	0.53	$0.164 \pm 0.005$
4	0.79	$0.254 \pm 0.002$
5	1.06	$0.338 \pm 0.009$

*s: desviación estándar.*

*Fuente: Elaboración propia.*



**FIGURA 27.** Concentración de  $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g/mL}$ ) vs. absorbancia. Determinación de linealidad para validación del método.

Para la evaluación estadística de la linealidad se obtuvo la ecuación de la recta donde  $y = 0.334x - 0.014$  y el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.999 (mostrados en la **FIGURA 27**). Por lo obtenido, se puede decir que existe correlación entre las medidas con una probabilidad elevada; entonces, se puede concluir que el método es lineal en un rango de absorbancia de  $0.029 \pm 0.001$  a  $0.338 \pm 0.009$ .

*b. Precisión*

En el presente estudio se determinó repetibilidad, precisión intermedia y reproducibilidad; cada una fue determinada por triplicado.

Para la **repetibilidad**: se debe considerar que las determinaciones se deben hacer por triplicado, por un único operador y en el mismo laboratorio; pero en diferentes días. Por ello, se tomó los datos obtenidos en linealidad (mostrados en la **TABLA 37**) y se realizó la respectiva determinación del coeficiente de variación y de los intervalos de confianza (todo ello plasmado en la **TABLA 38**).

**TABLA 38.** Resultados obtenidos para el análisis de repetibilidad. Determinación de Precisión.

N° de adición	Concentración de SO <sub>2</sub> (µg/mL)	Absorbancia promedio $\pm s$	Coeficiente de variación (%)	Intervalos de confianza al 95% para la Absorbancia	
				Límite inferior	Límite superior
1	0.13	$0.029 \pm 0.001$	3.92	0.027	0.032
2	0.27	$0.074 \pm 0.006$	8.71	0.058	0.090
3	0.53	$0.164 \pm 0.005$	2.95	0.152	0.176
4	0.79	$0.254 \pm 0.002$	0.79	0.249	0.259
5	1.06	$0.338 \pm 0.009$	2.61	0.316	0.360

*s*: desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia.

Para definir si el método era repetible o no, se consideró los límites del coeficiente de variación en función de la concentración del analito establecidos por la AOAC (Asociación Oficial de Químicos Analíticos). Como la concentración máxima, para la realización de la gráfica de calibración, fue de 1.06 µg/mL de SO<sub>2</sub> se consideró, entonces un valor de coeficiente de variación aceptable no mayor a 11%.<sup>16,17</sup>

Por lo observado en la **TABLA 38**, los valores de coeficiente de variación obtenidos (con un valor máximo de 8.71% y un mínimo de 0.79%) no sobrepasan el valor límite mencionado en el párrafo anterior (de 11%); lo cual permite concluir que el método aplicado posee repetibilidad.

Por otro lado, se consideró también lo reportado por *Horwitz et al.* en 1980; quienes reportaron que para una concentración del analito de 1 µg/mL se tiene un coeficiente de variación de hasta 16 %. Ello afirma nuevamente que el método aplicado poseía repetibilidad.<sup>18</sup>

En el caso de la **precisión intermedia**: se realizó las determinaciones por tres distintos operadores, en diferentes días; pero en un mismo laboratorio (las lecturas realizadas por cada operador se muestran en **ANEXO 18**).

Para poder afirmar que el método aplicado poseía precisión intermedia, se consideró que generalmente se aceptan los valores de coeficiente de variación obtenidos por los distintos operadores inferiores al doble del coeficiente de variación de la repetibilidad del método.<sup>16</sup>

En la **TABLA 39**, se muestran los resultados promedio de tres distintos operadores cuyas determinaciones se hicieron en días distintos; mas en un solo laboratorio. Los valores de coeficiente de variación obtenidos fueron aceptables.<sup>17</sup>

Posteriormente, los valores de precisión intermedia mostrados en la **TABLA 39** fueron comparados con el doble de los obtenidos en la repetibilidad; por ello se

muestra la **TABLA 40**, en la cual se puede observar que los coeficientes de variación hallados para precisión intermedia no sobrepasan al doble de los coeficientes de variación de la repetibilidad, lo cual indica que el método posee precisión intermedia.

**TABLA 39.** Resultados obtenidos para el análisis de precisión intermedia. Determinación de Precisión.

N° de adición	Concentración de SO <sub>2</sub> (µg/mL)	Absorbancia promedio ± s	Coeficiente de variación (%)	Intervalos de confianza al 95% para la Absorbancia	
				Límite inferior	Límite superior
1	0.13	0.031 ± 0.002	6.97	0.026	0.037
2	0.27	0.078 ± 0.007	8.51	0.061	0.094
3	0.53	0.172 ± 0.009	5.42	0.149	0.195
4	0.79	0.255 ± 0.004	1.57	0.245	0.265
5	1.06	0.339 ± 0.009	2.63	0.317	0.362

s: desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA 40.** Comparación de coeficientes de variación para el repetibilidad y precisión intermedia.

N° de adición	Concentración de SO <sub>2</sub> (µg/mL)	Coeficiente de variación (%) de Repetibilidad x 2	Coeficiente de variación (%) de Precisión intermedia
1	0.13	7.83	6.97
2	0.27	17.43	8.51
3	0.53	5.90	5.42
4	0.79	1.58	1.57
5	1.06	5.22	2.63

Fuente: Elaboración propia.

Otro aspecto que confirma la precisión intermedia del método es el intervalo de confianza. Los valores obtenidos de absorbancia en la precisión intermedia (**TABLA 39**) no deben pasar los intervalos de confianza al 95% mostrados para repetibilidad en la **TABLA 38**, y como se puede observar, ningún valor de absorbancia resultante en la precisión intermedia sobrepasa los límites de confianza de la repetibilidad.<sup>16</sup>

Para el caso de **reproducibilidad**: para poder demostrar que la metodología seguida podría ser utilizada en otros laboratorios, se decidió realizar el respectivo análisis para demostrar la reproducibilidad del método.

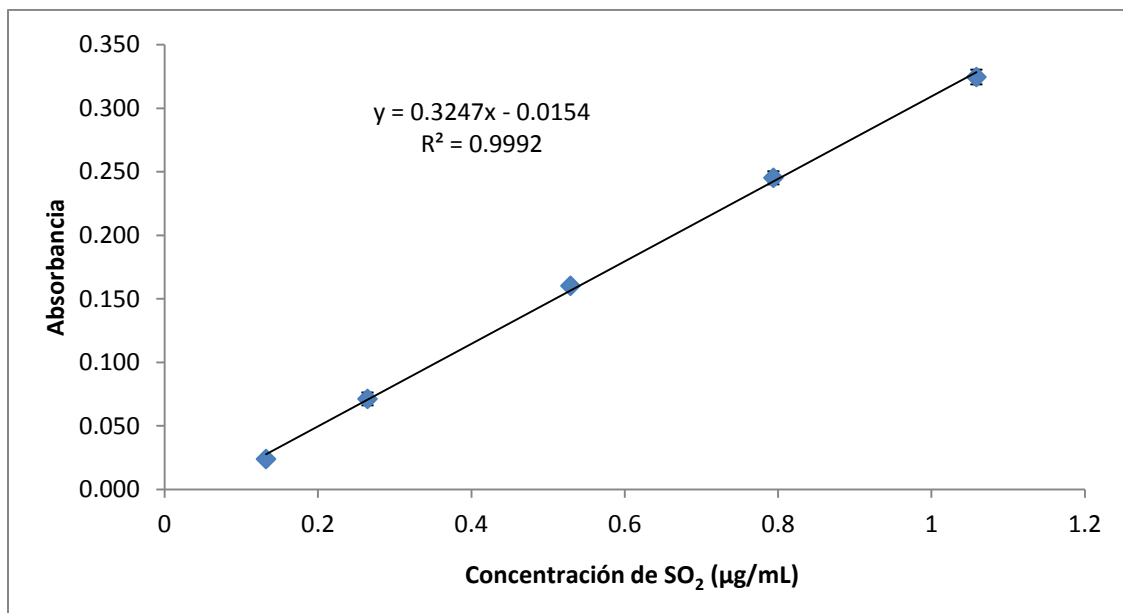
Para ello, se trabajó dicho aspecto en el Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María. El laboratorio en mención, cuenta con el equipo Shimadzu UV-1700; los promedios de los resultados obtenidos se muestran en la **TABLA 41** (ver datos completos en **ANEXO 19**).

**TABLA 41.** Resultados obtenidos para el análisis de reproducibilidad. Determinación de Precisión.

N° de adición	Concentración de SO <sub>2</sub> (µg/mL)	Absorbancia promedio ± s	Coeficiente de variación (%)	Intervalos de confianza al 95% para la Absorbancia	
				Límite inferior	Límite superior
1	0.13	0.024 ± 0.001	4.17	0.022	0.026
2	0.27	0.071 ± 0.005	7.06	0.059	0.084
3	0.53	0.160 ± 0.001	0.36	0.159	0.162
4	0.79	0.245 ± 0.005	2.09	0.233	0.258
5	1.06	0.325 ± 0.006	1.78	0.310	0.339

s: desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia.



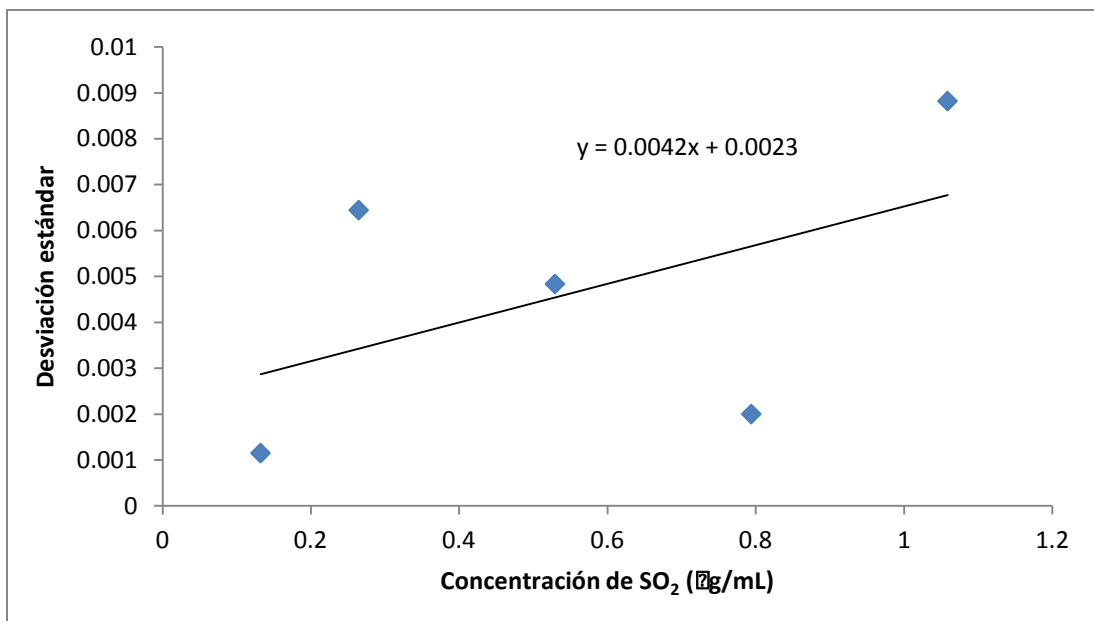
**FIGURA 28.** Concentración de SO<sub>2</sub> (µg/mL) vs. absorbancia. Determinación de reproducibilidad para validación del método.

Por los resultados obtenidos y mostrados en la **TABLA 41**, listados a continuación, se puede concluir que el método posee reproducibilidad:

- Coeficientes de variación menores a los límites establecidos de 11% (dado por la AOAC) y del 16% (según *Horwitz et al.*).
- Valores de absorbancias promedio que están dentro de los intervalos de confianza al 95% obtenidos en la repetibilidad.
- Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.999 (ver **FIGURA 28**).

### c. Sensibilidad

Se determinó el límite de cuantificación y de detección, para ello se utilizó los datos obtenidos en la linealidad; en la cual, se obtuvo una pendiente ( $b$ ) de 0.335 y el valor de la intersección ( $Y_{bl}$ ) de -0.014. Luego, para la obtención de la desviación estándar del blanco ( $s_{bl}$ ) se graficó la recta correspondiente a la concentración vs desviación estándar y se extrapoló la desviación estándar a concentración cero (Ver **FIGURA 29**). De dicha gráfica se obtuvo un valor de  $s_{bl}$  de +0.002.



**FIGURA 29.** Concentración de SO<sub>2</sub> (µg/mL) vs. desviación estándar. Determinación de la sensibilidad para validación de método.

Aplicando las ecuaciones mostradas en el **ANEXO 1**, se obtuvo 0.009 µg/mL como límite de detección (LD) y 0.012 µg/mL como límite de cuantificación (LC).

#### 1.3.4. Preparación de dispositivos

Par la determinación de dióxido de azufre se tomó otras zonas de monitoreo, distintas a las listadas para la determinación de dióxido de nitrógeno.

Fue así que una vez construido el modelo del dispositivo, se prosiguió a la definición de la solución de de impregnación a utilizar. Para ello se realizó ensayos utilizando carbonato de potasio al 4% y carbonato de sodio al  $1 \times 10^{-2}$  mol/L.

Previamente, se obtuvo los discos de papel filtro de un diámetro de 1.10 cm (se utilizó papel filtro grado 390); posteriormente se siguió un procedimiento de lavado e impregnación de los discos, el cual se detalla en **ANEXO 1**.

Para el armado de los dispositivos, se consideró los grupos mostrados la **TABLA 42**, integrando cada grupo 3 dispositivos.

**TABLA 42.** Datos relacionados al ensayo de impregnación.

Grupo	N° de discos de papel filtro impregnados	Solución de impregnación
1	1	Carbonato de sodio a $1 \times 10^{-2}$ mol/L
2	2	
3	1	Carbonato de potasio al 4%
4	2	

*Fuente: Elaboración propia.*

Para los ensayos se tomó en cuenta dos zonas: Bellavista Calle Principal s/n. Hunter y Variante de Uchumayo km 1.5, por ello se preparó para cada zona los cuatro grupos mencionados en la tabla anterior; haciendo así un total de 12 dispositivos para cada zona.

Una vez preparados los dispositivos (en dicha etapa se llenó el Registro de Laboratorio) fueron almacenados a una temperatura de 6 a 7 °C hasta su exposición.

La exposición se realizó instalando los dispositivos a una altura aproximadamente de 2 a 4 m, un ejemplo de la instalación de los dispositivos para este ensayo se muestran en la **FIGURA 30**. El periodo de exposición fue de 26 días, para el mes de **Enero** del 2012. Se registró los datos respectivos de instalación como los de recolección de dispositivos (ver **ANEXO 13**).



**FIGURA 30.** Instalación de dispositivos en Variante de Uchumayo km 1.5.

Cumplido dicho periodo de exposición se realizó la determinación de concentración de dióxido de azufre y se comparó estadísticamente la existencia de diferencia entre cada uno de los grupos.

Por los resultados obtenidos, los cuales se muestran más adelante, se decidió preparar los dispositivos para el mes de **Febrero** utilizando como solución de impregnación carbonato de potasio al 4% y dos discos de papel filtro por dispositivo. Durante el armado de los dispositivos se llenó el Registro de Laboratorio (ver **ANEXO 14**).

### **1.3.5. Exposición y recolección de muestras**

Para la exposición, se consideraron para el mes de **Febrero** tres zonas: Bellavista Calle Principal s/n. Hunter, Variante de Uchumayo km 1.5 y Urb. Terminal Terrestre.

Se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- No se expusieron blancos de campo.
- Por cada zona, se utilizó tres dispositivos y fueron instalados a una altura de, también, aproximadamente de 2 a 4 m.

El periodo de exposición para estas zonas, en el mes de Febrero, fue de 9 a 12 días. Cumplidos los periodos de exposición, se recolectó los dispositivos y fueron almacenados a una temperatura de 6 a 7°C hasta su análisis en el laboratorio; en dicha etapa se realizó el llenado del Registro de Campo (ver datos en **ANEXO 13**).

Como etapa previa al análisis de las muestras, se realizó la calibración del método.

### **1.3.6. Análisis de muestras**

Para el análisis de las muestras, primero se hizo ensayos en 4 grupos (tal como se señaló en la etapa de preparación de los dispositivos), ello para definir las solución de impregnación y

el número de discos por tubo. Los resultados de absorbancias y de concentración para los grupos de ensayo en estudio, que correspondieron al mes de Enero (ver **TABLA 43**), se muestran en **ANEXO 20** (para la determinación de la concentración se utilizó la ecuación  $y = 0.334x - 0.014$ ; ecuación obtenida previamente durante la validación del método).

Luego, para definir si existía o no diferencia significativa a un nivel de confianza del 95% de la capacidad de captación de los dispositivos con uno o dos discos de papel filtro frente a distintas soluciones de impregnación, se realizó el análisis estadístico respectivo de las absorbancias y cuyos resultados se muestran en la **TABLAS 43 y 44** (la resolución detallada se muestra en **ANEXO 21**). Para las conclusiones de la existencia o no de diferencias, se consideró las probabilidades de diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) y de diferencia altamente significativa ( $p < 0.00001$ ).

**TABLA 43.** Resultados de comparación estadística para la Zona de Bellavista Calle Principal s/n. Hunter. Análisis estadístico del mes de **ENERO 2012**.

Grupos estudiados	Valor de F practico	Valor crítico de F	Tipo de varianza	Probabilidad (para dos colas)	Significancia resultante por probabilidad
G1 vs. G2	6.63	19	Homogéneas	0.613	<i>a</i>
G2 vs. G3	1.70		Homogéneas	0.065	<i>a</i>
G1 vs. G3	1.68		Homogéneas	0.185	<i>a</i>
G2 vs. G4	6.57		Homogéneas	0.251	<i>a</i>

*a: No existe diferencia estadísticamente significativa.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede observar en las **TABLAS 43 y 44** no existe diferencia estadística significativa (en ninguna de las zonas monitoreadas), de los dispositivos en los que se uso un disco de papel filtro frente al uso de dos; de la misma manera, no existe diferencia estadísticamente significativa (a un nivel de confianza del 95%) entre las dos soluciones de

impregnación probadas en el ensayo. Por todo ello, se podría trabajar tanto con un solo disco de papel filtro o dos y utilizando cualquiera de las dos soluciones de impregnación probadas.

**TABLA 44.** Resultados de comparación estadística para la Zona de Variante de Uchumayo km 1.5. Análisis estadístico del mes de **ENERO 2012.**

Grupos estudiados	Valor de F practico	Valor crítico de F	Tipo de varianza	Probabilidad (para dos colas)	Significancia resultante por probabilidad
G1 vs. G2	3.43	19	Homogéneas	0.715	<i>a</i>
G2 vs. G3	2.25		Homogéneas	0.242	<i>a</i>
G1 vs. G3	1.75		Homogéneas	0.610	<i>a</i>
G2 vs. G4	1.15		Homogéneas	0.138	<i>A</i>

*a: No existe diferencia estadísticamente significativa.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Fue así, que se decidió que para el mes de Febrero se utilizaría como solución de impregnación carbonato de potasio al 4% y dos discos de papel filtro por dispositivo.

Es importante recalcar, que se ha reportado también el uso de solo un disco de papel filtro con resultados de buen rendimiento. Un ejemplo de ello, es lo trabajado por *Campo et al.* quienes utilizaron como solución de impregnación al carbonato de sodio al  $1 \times 10^{-2}$  mol/L pero únicamente un solo disco de papel filtro (Whatman 40) haciendo pruebas de monitoreo no solo para periodos de un mes, sino también de hasta una semana. Quienes también han reportado el uso de solo un disco de papel filtro fueron *Salem et al.*; los autores también utilizaron el papel filtro Whatman 40; pero la solución de impregnación fue distinta (KOH/glicerol) a un así los resultados fueron eficientes.<sup>9,40,41</sup>

El papel filtro Whatman es el más usado, para este tipo de investigaciones, debido a que es hidrofílico y fácil de usar.<sup>42</sup>

Por ello, para el presente trabajo de investigación se utilizó el papel filtro grado 390 (*Sartorius Stedim Biotech*), el cual es similar al papel filtro Whatman. Ambos son filtros para análisis cuantitativos, son de categoría sin cenizas y bastante puros (alfa celulosa > 98%). La diferencia entre ambos es que la retención del grado 40 es de 8 µm y el de grado 390 es de 3 – 5 µm.<sup>43,44</sup>

Luego de definir la solución de impregnación y el número de discos de papel filtro, se realizó el monitoreo de dióxido de azufre para el mes de Febrero del 2012 en tres diferentes zonas de la ciudad de Arequipa. Las absorbancias y la concentración en µg/mL obtenidas en dicho mes, para las tres zonas monitoreadas, se muestran en **ANEXO 22** (para la determinación de la concentración se utilizó la ecuación  $y = 0.334x - 0.014$ ; ecuación obtenida previamente durante la validación del método).

Luego, la concentración de dióxido de azufre por metro cúbico de aire (µg/m<sup>3</sup>) se determinó aplicando la **Ec. (10)**.

$$SO_2 \left( \frac{\mu g}{m^3} \right) = \frac{\mu g/mL \text{ de } SO_2 * 10^6 * 25}{S * t * 60} \quad (10)$$

*Donde:*

$S$  = cociente de captación (mL/min).

$t$  = tiempo de exposición (h).

#### 1.3.6.1. Determinación del cociente de captación ( $S$ )

Se evaluó el cociente de captación ( $S$ ) según la **Ec. (11)**. Como se presentó en el **punto 1.1.**, el dispositivo construido fue hecho de las mismas dimensiones del distribuido por la empresa Deuman S.A.C.; por ello el valor que se obtuvo de  $S$  fue

utilizado para la determinación de dióxido de azufre (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) del dispositivo construido.

$$S = \frac{D_T * a}{L} \quad (11)$$

*Donde:*

$D_T$  = coeficiente de difusión del gas ( $\text{cm}^2/\text{min}$ ).

$a$  = un área de sección transversal ( $\text{cm}^2$ ).

$L$  = longitud del tubo (cm).

Para la determinación del cociente de difusión ( $D_T$ ) se tomó en cuenta que se han reportado tablas de conversión en función de la temperatura.<sup>45</sup>

De dichas tablas, se tomó los valores de  $D_T$  ( $\text{cm}^2/\text{min}$ ) de acuerdo a las temperaturas resultantes para los meses de Enero y Febrero del 2012. Fue así que para el mes de Enero (cuya temperatura media promedio fue de  $13.9^\circ\text{C}$ ) el valor de  $D_T$  utilizado fue  $0.125 \text{ cm}^2/\text{min}$  y para el mes de Febrero (cuya temperatura media promedio fue de  $13^\circ\text{C}$ ), el valor de  $D_T$  fue de  $0.125 \text{ cm}^2/\text{min}$ .

Con los valores de  $D_T$  seleccionados, los valores del largo de los dispositivos (5.00 cm) y el diámetro de la sección transversal de 0.95 cm (siendo entonces el radio de 0.48 cm y una área de  $0.71 \text{ cm}^2$ ) se determinó el cociente de captación ( $S$ ) para cada periodo en estudio. Los resultados, para cada mes y en distintas unidades, se muestran en la **TABLA 45**.

**TABLA 45.** Valores de cociente de captación ( $S$ ) hallados.

Mes	Cociente de captación ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )	Cociente de captación (mL/min)
ENERO	0.018	1.066
FEBRERO	0.018	1.059

*Fuente: Elaboración propia.*

1.3.6.2. *Determinación de la concentración de dióxido de azufre por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )*

Una vez obtenidos los valores del cociente de captación ( $S$ ) se determinó las concentraciones respectivas de  $\text{SO}_2$  en los dispositivos, considerando los resultados de concentración con carbonato de sodio al 4% y dos discos de papel filtro para el mes de Enero del 2012.

Previamente, se determinó el número de horas cumplidas al término de la exposición de los dispositivos. Para ello, se utilizó los datos anotados en el Registro de Campo (RC) (ver dichos datos de todos los meses monitoreados y los valores de la suma del tiempo de exposición de los dispositivos, expresados en horas, en **ANEXO 13**) y se hizo el cálculo respectivo haciendo uso del Programa de Microsoft Office Excel.

Posteriormente, se hizo el reemplazo respectivo en la **Ec. (10)** y los resultados obtenidos para cada mes monitoreado se muestran en las **TABLAS 46 y 47**, en dichas tablas se muestra también la media aritmética. Los resultados se representan esquemáticamente en la **FIGURA 31**.

**TABLA 46.** Resultados de concentración de dióxido de azufre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **ENERO - 2012**.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Media aritmética ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) $\pm s$
	1	2	3	
Bellavista Calle Principal s/n. Hunter	105.62	107.61	100.75	104.66 $\pm$ 3.53
Variante de Uchumayo km 1.5	143.84	156.47	146.01	148.77 $\pm$ 6.75

*s: desviación estándar.*

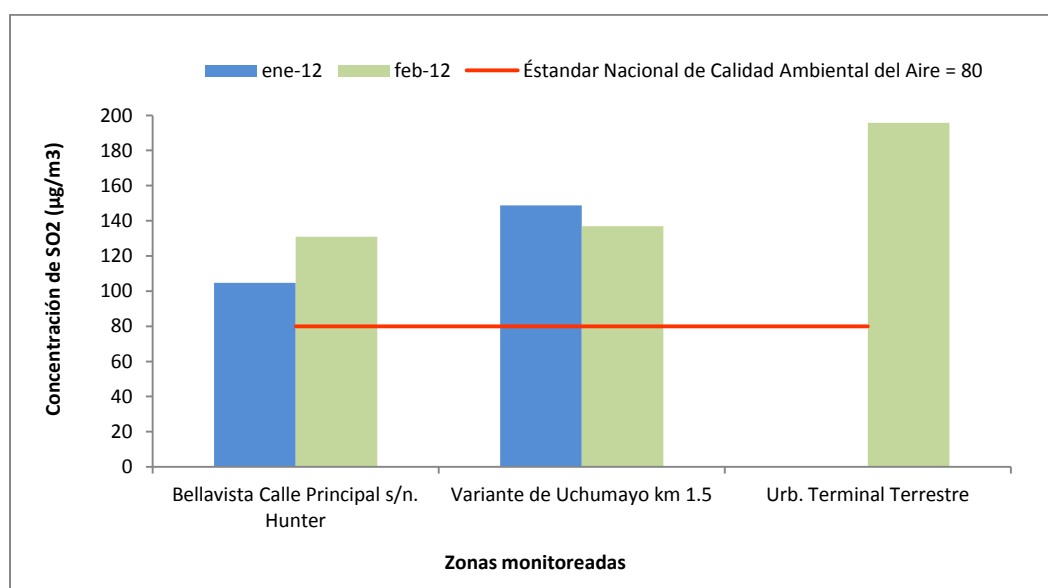
*Fuente: Elaboración propia.*

**TABLA 47.** Resultados de concentración de dióxido de azufre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el mes de **FEBRERO - 2012**.

Zonas de Monitoreo	Concentración de $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Media aritmética ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) $\pm s$
	1	2	3	
Bellavista Calle Principal s/n. Hunter	129.13	131.57	131.84	$130.85 \pm 1.49$
Variante de Uchumayo km 1.5	136.52	135.87	138.54	$136.99 \pm 1.42$
Urb. Terminal Terrestre	206.74	190.02	190.18	$195.65 \pm 9.61$

s: desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 31.** Concentración de dióxido de azufre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para los meses de Enero y Febrero del 2012.

Como se observa en la **FIGURA 31**, todas las concentraciones halladas sobrepasan el valor límite establecido por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (**Decreto Supremo N° 074-2001-PCM**). Pero dicho límite es para la media aritmética anual, más en el presente trabajo de investigación se dan los resultados de únicamente dos meses e incluso los periodos de cada mes no cumplen con los 30 días (el periodo máximo medido fue de 26 días, mientras el mínimo de 9 días para los meses de Enero y Febrero respectivamente).

Por otro lado, las concentraciones obtenidas no pudieron ser comparadas con algún modelo de dispositivo distribuido comercialmente (tal como se evaluó y mostró en el caso de la determinación de dióxido de nitrógeno), pero aun así las concentraciones obtenidas pueden servir de referencia y demuestran que efectivamente se puede usar la solución de carbonato de sodio al 4% y dos discos de papel filtro como componentes de los dispositivos pasivos tipo tubo para el monitoreo de dióxido de azufre por medio de los y su determinación por espectrofotometría.

Si observamos las concentraciones obtenidas, la más elevada fue para la zona de la **Urb. Terminal Terrestre** para el mes de Febrero del 2012 (con un valor de  $195.65 \pm 9.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) aspecto que llamó la atención ya que se esperaba obtener mayor concentración de dióxido de azufre para la zona de la **Variante de Uchumayo km 1.5** (la cual fue de  $136.99 \pm 1.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ello se debe probablemente, que en la primera zona mencionada los dispositivos se instalación en la misma urbanización, zona en la cual los edificios son grandes (existe la presencia de hoteles, hospedajes, etc.) y el tráfico es elevado (no solo por autos, sino también por autobuses); pero los dispositivos en la zona de la Variante de Uchumayo km 1.5 fueron instalados en una zona cercana a la autopista y a pesar de que el tráfico vehicular es elevado (se podría decir que mayor a la zona del Terminal Terrestre) presenta pocas edificaciones (las cuales son generalmente de un solo piso), lo cual permite que la difusión del gas sea mayor.

Luego, otros autores han reportado que las concentraciones de  $\text{SO}_2$  son generalmente altas en países desarrollados y que existe cierta influencia sobre la capacidad de captación de los dispositivos frente a su ubicación en la zona de monitoreo, tal es el caso de lo ejecutado por *Zou et al.* quienes dieron a conocer el estudio de monitoreo de  $\text{SO}_2$  en Shanghai – China, y demostraron que las concentraciones de  $\text{SO}_2$  disminuían cuando la distancia entre la autopista y la zona de ubicación de los dispositivos era elevada.<sup>46</sup>

Con respecto a la zona de **Bellavista Calle Principal s/n, en Hunter**, la mayor concentración fue de  $130.85 \pm 1.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (para el mes de Febrero). Dicha zona se encuentra rodeada por campiñas y el número de viviendas es bajo, pero aun a pesar de ello la concentración obtenida fue alta y ello se puede deber a la ubicación de los dispositivos, la cual fue cercana a una cochera. Ello nos permite concluir, que la influencia de la ubicación de los dispositivos juega un rol importante para un estudio eficiente.

A diferencia de lo reportado, existen zonas que dan concentraciones extremadamente bajas o nulas en otros países; tal como lo dieron a conocer *Andrés et al.* quienes hicieron un estudio de monitoreo de contaminantes del aire en la ciudad de Rosario (Argentina), durante los años 1994 a 1995, determinando que durante esos dos años se encontraron concentraciones extremadamente bajas o nulas de dióxido de azufre.<sup>37</sup>

Pero también existen países que no reportan concentraciones nulas, tal es el caso de lo reportado por la Comisión del Medio Ambiente en la ciudad de Chile (año 2001). Dicha comisión realizó el monitoreo de dióxido de azufre utilizando dos dispositivos por zona, mas no tres como se hizo en el presente trabajo, y reportaron una concentración media anual de  $48.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la Comuna de Tacahuano<sup>47</sup>. Pero así como dicha comisión utilizó únicamente dos dispositivos para el monitoreo de dióxido de azufre, otros autores han reportado el uso de más de dos o tres dispositivos; ello lo demuestra lo realizado por *Carmichael et al.* quienes utilizaron 6 dispositivos para el monitoreo y aprovecharon la cantidad de dispositivos para poder validar el diseño presentado por ello.<sup>48</sup>

A fin de conocer si las concentraciones obtenidas podían estar dentro de un rango permitido, se obtuvo la **TABLA 48**.

En la **TABLA 48**, se puede observar que para el caso de dióxido de azufre se presenta un límite máximo anual de  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (siendo el valor mínimo de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), lo que implicaría que las concentraciones obtenidas en el presente trabajo de investigación

sobrepasan, también, los valores límites establecidos por otros países. Por su parte, en los resultados obtenidos para la determinación de dióxido de nitrógeno en la zona de Óvalo San Lázaro – Cercado sí superarían los límites establecidos por Suiza y por la Guía Mundial de la Salud.

**TABLA 48.** Valores guía de Calidad del Aire recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y las normas de varios países al respecto.

Contaminante	Periodo	Unidad	Guía OMS	Chile	Brasil	México	EE.UU	Suiza
NO <sub>2</sub>	1 hora	µg/m <sup>3</sup>	200			395		
	24 horas	µg/m <sup>3</sup>						80
	1 año	µg/m <sup>3</sup>	40	100			100	30
SO <sub>2</sub>	24 horas	µg/m <sup>3</sup>	125	365	365	340	365	100
	1 año	µg/m <sup>3</sup>	50	80	80	80	80	30
CO	1 hora	µg/m <sup>3</sup>	26	35	35			
	8 horas	µg/m <sup>3</sup>	9	9	9	11	9	7 <sup>a</sup>
O <sub>3</sub>	1 hora	µg/m <sup>3</sup>		160	160	216	235	120
	8 horas	µg/m <sup>3</sup>	120				157	
	1 año	µg/m <sup>3</sup>	60					
TSP	24 horas	µg/m <sup>3</sup>		260	240	260		
	1 año	µg/m <sup>3</sup>		75	80	75		
PM <sub>10</sub>	24 horas	µg/m <sup>3</sup>		150	150	150	150	50
	1 año	µg/m <sup>3</sup>			50	50	50	20
Plomo	¼ año	µg/m <sup>3</sup>				1.5	1.5	
	1 año	µg/m <sup>3</sup>	0.5	0.5				0.5

<sup>a</sup>Promedio de 24 horas.

*Fuente: Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico Swisscontact, 2001. Manual de Laboratorio. Monitoreo del Aire.*

## CAPÍTULO 2. DISCUSIÓN SOBRE LA PRESENCIA DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO Y DIÓXIDO DE AZUFRE EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

Finalmente, por los resultados obtenidos tanto en la determinación de dióxido de nitrógeno y de dióxido de azufre se puede afirmar que la presencia de ambos contaminantes en la ciudad se debe en gran parte al **tráfico vehicular**.

Las estimaciones de emisiones totales (fuentes móviles y fuentes fijas) en la cuenca atmosférica de Arequipa es aproximadamente de 101 852 ton/año, siendo las emisiones de **fuentes móviles de 60%**, las emisiones del sector comercial del 11% y las emisiones de calderas del 8% todas ellas corresponden a emisiones de combustión y 15% de emisiones generadas por procesos de manufactura. Por otro lado, a nivel nacional las perspectivas del mercado automotor están retomando un fuerte ritmo de expansión.<sup>49</sup>

De acuerdo a información de la Superintendencia Nacional de Registros Públicos – SUNARP, el parque automotor registrados a marzo del 2004, es de 104 747 vehículos, faltando agregar un 15% de vehículos no registrados por razones de antigüedad y de tránsito de otras ciudades. Y a pesar de que existe una gran cantidad de unidades de transporte con motores a gasolina, aquéllos destinados al transporte público de Arequipa están equipados predominantemente con motores diesel.<sup>1,30</sup>

Los resultados del Inventario de Emisiones de **fuentes móviles** muestran que del total de emisiones atmosféricas, el 52% es CO, **22% es SO<sub>2</sub>**, **16% son NO<sub>x</sub>**, 9% son COV y 1% son PTS. Por otro parte, el 24% de las emisiones atmosféricas en la cuenca atmosférica de Arequipa proviene de las fuentes estacionarias que se desagregan en emisiones generadas por el sector industrial y por el sector comercial. Los principales contaminantes emitidos por estas fuentes estacionarias son: 57% de partículas totales en suspensión PTS, 19% de

dióxido de azufre  $\text{SO}_2$ , 14% de monóxido de carbono CO, 5% de óxidos de nitrógeno  $\text{NO}_x$ , 5% de compuestos orgánicos volátiles COV. Las fuentes generadoras de estas emisiones son las fuentes industriales no metálicas con el 69.2% de las emisiones (ladrilleras en 42% y cementera en 27.2%), la industria alimentaria con el 6.4%, la industria química con el 3.4%, la industria metálica con el 1.2%, pollerías, saunas y panaderías 12.4% y la quema de residuos sólidos de 8%.<sup>1</sup>

En la presentación de la Primera etapa del proyecto de construcción de un corredor exclusivo y obras complementarias para un sistema de transporte público integrado y sustentable en la ciudad de Arequipa, se afirma que **el principal responsable de la presencia de  $\text{SO}_2$  como contaminante es el parque automotor**, ya que está relacionado con la concentración de azufre presente en los diferentes combustibles utilizados. Se afirma también, que **la presencia de  $\text{NO}_x$  se debe a lo mismo** ya que dicho contaminante está relacionado en forma directa con el tamaño del motor y la antigüedad del vehículo, siendo mayor en las unidades diesel. En el siguiente listado se detalla las fuentes móviles generadoras de los contaminantes anteriormente mencionados:

- Fuentes móviles emisoras del contaminante  $\text{SO}_2$  principalmente son: 47% por los remolques y camiones, 50% por ómnibus interprovincial y 3% por las demás categorías.
- Fuentes móviles emisoras del contaminante  $\text{NO}_x$  principalmente son: 39% por ómnibus interprovinciales, 28% por vehículos pesados, 19% generados por taxis y 14% generados por las demás categorías.<sup>45</sup>

También es importante recalcar que la presencia de dichos contaminantes y sus concentraciones están siendo expresadas probablemente afectando la salud a los ciudadanos. Según el Análisis de la Situación de la Salud (ASIS 2002) de la oficina de Epidemiología de la Dirección de Salud de Arequipa, las enfermedades del sistema respiratorio ocupan el primer lugar, dentro del perfil de morbilidad de la región y se complementa con el estudio epidemiológico realizado por la Dirección Regional de Salud Ambiental Arequipa, donde más de 60 personas de cada 100 sufren enfermedades respiratorias.<sup>1</sup>

### CAPÍTULO 3. ANÁLISIS ECONÓMICO

Como se ha visto, una de las ventajas de utilizar dispositivos de difusión pasiva tipo tubo es su bajo costo.

Una empresa que distribuye al Perú dispositivos de difusión pasiva tiene como precios referenciales los presentados en la **TABLA 49**.

**TABLA 49.** Precios referenciales de los muestreadores pasivo.

<b>Parámetro</b>	<b>Para cantidades entre:</b>	<b>Precio unitario (Nuevos Soles, con IGV)</b>
Dióxido de nitrógeno	1-10	S/. 71.88
	11-100	S/. 65.40
	101-500	S/. 61.62
	501-1000	S/. 60.70
Dióxido de azufre	1-10	S/. 137.74
	11-100	S/. 125.32
	101-500	S/. 122.62

*Fuente: Klepel Consulting S.A.C. Muestreadores pasivos.*

Dentro de las consideraciones, se tiene que el precio incluye gastos de envío y el respectivo análisis para determinar la concentración del contaminante y el plazo del reporte de los resultados lo proporcionan de 4 semanas desde la recepción de los muestreadores expuestos en sus oficinas.<sup>7</sup>

A comparación de lo expuesto, el costo para la construcción de los dispositivos del nuevo modelo presentado en el presente trabajo de investigación es de S/. 30.00 cada uno. Entonces, en el caso que se tenga 10 zonas de monitoreo y en cada zona se exponga tres dispositivos de los construidos, *para el monitoreo de dióxido de nitrógeno*, se requeriría un total de 30 dispositivos (cuyo costo sería de S/. 900.00); en relación al costo del análisis completo para los 30 dispositivos, se gastaría aproximadamente S/. 300.00 y ello hace un gasto total de S/. 1 200.00 para los 30 dispositivos (ello si se cuenta con un espectrofotómetro). En el caso que se incluyese el contenedor, el cual fue descrito en el **CAPÍTULO I** y su costo fue de S/. 60.00, entonces para los 30 dispositivos se requeriría 10 contenedores haciendo así un costo de S/. 600.00 adicionales.

La suma total del costo para la obtención y el análisis respectivo de 30 dispositivos, *incluyendo contenedores* sería de **S/. 1 800.00**. Ello para los dispositivos construidos y expuestos en el presente trabajo de investigación.

Por otra parte, para el caso de la empresa que distribuye los dispositivos (cuyos precios se listaron en la **TABLA 49**) el precio de 30 muestreadores ( $30 * S/. 65.40$ ) sería de **S/. 1 962.00** y como dicho costo no incluye el contenedor, el ahorro que se daría del uso de los dispositivos construidos frente a los distribuidos comercialmente sería de S/. 800.00 (dinero que alcanzaría para poder *monitorear 4 zonas más* si se utilizase los dispositivos del modelo construido).

## CONCLUSIONES

PRIMERA. Se construyeron dos dispositivos de difusión pasiva tipo tubo. Uno para el monitoreo de dióxido de nitrógeno de 7.40 cm de largo y 0.95 cm de sección transversal y el segundo, para el monitoreo de dióxido de azufre, de 5.00 cm de largo y 0.95 cm de sección transversal.

SEGUNDA: La metodología para la determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno demostró ser lineal (cuyo coeficiente de variación fue de 0.999, en un rango de absorbancia de  $0.076 \pm 0.005$  a  $0.686 \pm 0.012$ ), precisa y sensible (LD = 0.159 nanomoles de NO<sub>2</sub> en 4 mL de reactivo colorimétrico; LC = 1.305 nanomoles de NO<sub>2</sub> en 4 mL de reactivo colorimétrico). Para el caso de la metodología para la determinación de dióxido de azufre, mostró también ser lineal (con un coeficiente de variación de 0.999, en un rango de absorbancia de  $0.029 \pm 0.001$  a  $0.338 \pm 0.009$ ), precisa y sensible (LD = 0.009 µg/mL; LC = 0.012 µg/mL).

TERCERA: Se realizó el monitoreo pasivo de dióxido de nitrógeno desde Agosto del 2011 a Febrero del 2012, haciendo un total de 6 meses y en 10 zonas de la ciudad de Arequipa; mostrando mayor concentración de dióxido de nitrógeno la zona del Óvalo San Lázaro Cercado. La determinación de dióxido de azufre se hizo por dos meses (Enero y Febrero del 2012) y en tres zonas de la ciudad, siendo la concentración más elevada para la zona de Urb. Terminal Terrestre.

CUARTA: Por el análisis estadístico aplicado, en el monitoreo de dióxido de nitrógeno (para los meses de Enero y Febrero del 2012) no hubo diferencia estadística significativa (a un nivel de confianza del 95%) de las concentraciones obtenidas de los dispositivos construidos frente a los distribuidos comercialmente.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar una comparación estadística de las concentraciones obtenidas por el uso de los dispositivos construidos (para el monitoreo de dióxido de azufre), frente a la aplicación de algún dispositivo estandarizado.
2. Realizar ensayos para determinar la influencia directa de la dirección del viento para el monitoreo de dióxido de nitrógeno y de dióxido de azufre, en la ciudad de Arequipa.
3. Diseñar y construir dispositivos para el monitoreo de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre para periodos de corto plazo. Para con ello, poder determinar las diferencias de dichos dispositivos frente a los de determinación de largo plazo.
4. Diseñar y construir dispositivos que puedan monitorear a la vez más de un gas contaminante.
5. Evaluar la construcción de los dispositivos y el contenedor a partir de material reciclado.
6. Revisar Hojas de Seguridad de los reactivos antes de usar, y así evitar alguna forma de contaminación y/o resultados no validos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Municipalidad provincial de Arequipa. Proyecto de construcción de un corredor exclusivo y obras complementarias para un sistema de transporte público integrado y sustentable en la ciudad de Arequipa – Primera etapa. Código SNIP: 77545, 2008.
2. Glasius, M.; Carlsen, M.; Hansen, T.; Lohse, C. Measurements of nitrogen dioxide on Funen using diffusion tubes. *Atmospheric Environment* 33 (1999) 1177-1185.
3. León, C. y León, T. Monitoreo y simulación de la calidad de aire en la ciudad de Cuenca. Universidad Politécnica Salesiana. 2009
4. Ouyang, G. y Pawliszyn, J. Configuración y métodos de calibración para metodologías de muestreo pasivo. *Journal of Chromatography A*, 1168 (2007) 226–235.
5. Targa, J. and Loader, A. Diffusion tubes for ambient NO<sub>2</sub> monitoring: Practical Guidance for laboratories and users. AEA Energy & Environment, 2008.
6. Health and Safety Executive Committee of Analytical Requirements – Working group 5. The Diffusive Monitor; 2008.
7. Klepel Consulting S.A.C. Muestreadores pasivos. Disponible en: <http://www.klepel.ch/tubospasivos.php>
8. Doval, M. Evaluación de la norma UNE en 14211:2006 para la medida de óxidos de nitrógeno en aire: propuestas de modificaciones. Universidad de Murcia, 2009.
9. Campos, V.; Cruz, L.; Godoi, R.; Godoi, F.; Tavares, T. Development and validation of passive samplers for atmospheric of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>S in tropical area. *Microchemical Journal* 96(2010) 132-138.
10. Cruz, I.; Campos, V.; Silva, A.; Tavares, T. A field evaluation of a SO<sub>2</sub> passive sampler in tropical industrial and urban air. *Atmospheric Environment* 38 (2004) 6425-6429.

11. De Santis, F.; Allegrini, I.; Fazio, M.; Psella, D.; Piredda, R. Development of a passive sampling technique for the determination of nitrogen dioxide and sulphur dioxide in ambient air. *Analytica Chimica Acta* 346 (1997) 127-134
12. Cox, R. The use of passive sampling to monitor forest exposure to O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>: a review and some case studies. *Environmental Pollution* 126 (2003) 301-311.
13. Plaisance, H.; Piechecki-Minguy, A.; Garcia-Fouque, S.; Galloo, J. Influence of meteorological factors on the NO<sub>2</sub> measurements by passive diffusion tube. *Atmospheric Environment* 38 (2004) 573–580.
14. Orosco et al. Contaminación ambiental Una visión desde la Química. 1.<sup>a</sup> edición, 5.<sup>a</sup> reimpresión, 2008. Thomson Editores Spain. Paraninfo, S.A.
15. Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos de ozono troposférico y dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea. Descripción del método de medida. Capítulo 5: Descripción del Método de Medida.  
Disponible en: [http://www.tesisenxarxa.net/TESIS\\_UJI/AVAILABLE/TDX-0415105-125337//capitulo4.pdf](http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UJI/AVAILABLE/TDX-0415105-125337//capitulo4.pdf)
16. Asociación española de farmacéuticos de la industria. Validación de Métodos Analíticos. 2001.
17. AOAC Guidelines for Single Laboratory. Validation of Chemical Methods for Dietary. Supplements and Botanicals
18. Rivera, C. y Rodríguez, M. Uso de la ecuación de Horwitz en laboratorios de ensayos NMX-EC-17025-IMNC-2006. Simposio de Metrología; 2010.
19. Melymuk, L.; Robson, M.; Helm, P.; Diamond, M. Evaluation of passive air sampler calibrations: Selection of sampling rates and implications for the measurement of persistent pollutants in air. *Atmospheric Environment* 45 (2011) 1867 – 1875.

20. Vardoulakis, S.; Lumbrellas, J.; Solazzo, E. Comparative evaluation of nitrogen oxides and ozone passive diffuse tubes for exposure studies. *Atmospheric Environment* 43 (2009) 2509-2517
21. Field Investigation of NO<sub>2</sub> Diffusion Tube Preparation Techniques” Report in preparation to Defra & the Devolved Administrations by AEA Energy & Environment, AEAT/ENV/R/2503 Draft A, 2007.
22. Kasper-Giebl, A. and Puxbaum, H. Deposition of particulate matter in diffusion tube samplers for the determination of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>. *Atmospheric Environment* 33 (1999) 1323-1326.
23. Chao, C. and Law, A. A study of personal exposure to nitrogen dioxide using passive samplers. *Building and Environment* 35 (2000) 545-553
24. Centre for Ecology and Hydrology (Edinburgh Research Station). Review of the use of passive diffusion tubes for measuring concentrations of nitrogen dioxide in air. Bush Estate, Penicuik, Midlothian, EH26 0QB, UK; 2005.
25. Máximo, A. and Alvarenga, B. *Física General con experimentos sencillos*. 4<sup>a</sup> Edición. Oxford University Press. México, D.F; 2001.
26. Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico Swisscontact. *Manual de Laboratorio. Monitoreo de Aire*; 2001.
27. Martínez, E. Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, XXXVIII (2005) 315-332 / I S S N: 1133- 3677.
28. Paaso, L. and Palmeira, V. Atmostragem passiva de poluentes atmosféricos. *Aplicação ao SO<sub>2</sub>*. *Quím. Nova* vol.25 no.3 São Paulo May 2002.
29. Paz, K. *Media aritmética simple*. Universidad Rafael Landívar.
30. Asociación Civil Labor Arequipa. Estudio epidemiológico por exposición a contaminantes atmosféricos de la población en riesgo de Arequipa. Proyecto Gestión de la Salud Ambiental y Descontaminación Atmosférica en la ciudad de Arequipa, ámbito de Arequipa Metropolitana – MUSA; 2004.

31. Ranette, R. Equilibrio y análisis químico. Fondo Educativo Interamericano, S.A. 1983.
32. Krochmal, D. and Kalina, A. Measurements of nitrogen dioxide and sulphur dioxide concentrations in urban and rural areas of Poland using a passive sampling method. *Environmental Pollution*, Vol. 96, No. 3, pp. 401-407, 1997.
33. Lin, C.; Massey, S.; Timmis, R.; Jones, K. A new flow-through directional passive air sampler: design performance and laboratory testing for monitoring ambient nitrogen dioxide. *Atmospheric Pollution Research* 2 (2011) 1-8.
34. Sekine, Y.; Watts, S.; Rendell, A.; Butsugan, M. Development of highly sensitive passive sampler for nitrogen dioxide using porous polyethylene membrane filter as turbulence limiting diffuser. *Atmospheric Environment* 42 (2008) 4079-4088
35. Liard, R.; Zureik, M.; Le Moullec, Y. Use of personal passive samplers for measurement of NO<sub>2</sub>, NO, and O<sub>3</sub>. Levels in Panel Studies. *Environmental Research Section A* 81,339-348, 1999.
36. A.Q.I. Consultores. Informe de monitoreo de calidad del aire. Inmisión de particular PM<sub>10</sub>, Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno y Monóxido de Carbono. Pereira, 2009.
37. Andrés, D.; Ferrero, E.; Mackler, C. Contaminación del aire en ciudades debido al uso de combustibles en vehículos. Argentina, 2000.
38. Oyola, R. Titulación potenciométrica: Análisis cualitativo y cuantitativo. Laboratorio Química Analítica-Quim3026. Disponible en: [http://www.uprh.edu/~royola/Experimento\\_Tit\\_Potenciometrica.pdf](http://www.uprh.edu/~royola/Experimento_Tit_Potenciometrica.pdf)
39. Zacarías, E. Aspectos formales de la Química analítica y aplicaciones cotidianas. Laboratorio Inquimel, Santiago-Chile.
40. Shalaby, E.; Ghatass, Z.; El-Raey, M. A simple Technique for Measurements of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> in Alexandria and Delta Region, Egypt. *American-Eurasian Journal of Scientific Research* 2(2); 106-111, 2007.
41. Salem, A.; Soliman, A.; El-Haty, I. Determination of nitrogen dioxide, sulfur dioxide, ozone and ammonia in ambient air using the passive sampling method

- associated with ion chromatographic and potentiometric analyses. *Air QualAtmos Health* (2009) 2:133-145.
42. Perkauskas, D. and Mikelinskiene, A. Evaluation of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> concentration levels in Vilnius (Lithuania) using passive diffusion samplers. *Environmental Pollution* 102, S1 (1998) 249-252.
  43. Papel de filtro cuantitativo. Disponible en:  
[https://es.vwr.com/app/catalog/Product;jsessionid=EG1Fn40jeWwZWnoVGj9Z-w\\*\\*.node7?article\\_number=515-1144&frmls=x](https://es.vwr.com/app/catalog/Product;jsessionid=EG1Fn40jeWwZWnoVGj9Z-w**.node7?article_number=515-1144&frmls=x)
  44. Filtros de papel y membranas: Coger un filtro de papel Whatman, filtrar una muestra de agua y analizar para presencia de sólidos en suspensión. Se trata de un ensayo sencillo pero esencial a nivel mundial. Disponible en:  
[http://catalogo.rodellab.com/Whatman/02\\_Filtros.pdf](http://catalogo.rodellab.com/Whatman/02_Filtros.pdf)
  45. Ogawa & Co., USA, Inc. NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub>. Sampling Protocol. Using the Ogawa Sampler, 2006.
  46. Zou, X. et al. On an empirical relationship between SO<sub>2</sub> concentration and distance from a highway using passive samplers: A case study in Shanghai, China. *Science of the Total Environment* 377 (2007) 434-438.
  47. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Región del Bío – Bío. Monitoreo de Contaminantes Gaseosos en la Comuna de Talcahuano III. Universidad de Concepción, 2001.
  48. Carmichael et al. Measurements of sulfur dioxide, ozone and ammonia concentrations in Asia, and South America using passive samplers. *Atmospheric Environment* 37 (2003) 1293-1308.
  49. BBVA Research. Situación automotriz Perú. Análisis económico, 2010.
  50. Gesta zonal de aire. CONAM. Plan a limpiar el aire – Arequipa, 2005.

# ANEXOS

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN QUÍMICA DEL MEDIO AMBIENTE**



**PROYECTO DE TESIS**

**“CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE DISPOSITIVOS PARA EL MONITOREO PASIVO DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO ( NO<sub>2</sub> ) Y DIÓXIDO DE AZUFRE ( SO<sub>2</sub> ) EN LA CIUDAD DE AREQUIPA - PERÚ”.**

PRESENTADO POR LA BACHILLER:  
CLAUDIA MABEL CALISAYA CARPIO

AREQUIPA – PERÚ

2011

## ÍNDICE

	PGS.
<b>CAPÍTULO 1. PREÁMBULO</b>	
<b>CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO TEÓRICO</b>	
1. Problema de investigación .....	105
1.1. Enunciado del problema .....	105
1.2. Descripción del problema .....	105
1.3. Justificación del problema .....	106
2. Marco conceptual.....	107
2.1. Aire .....	107
2.2. Contaminación atmosférica .....	108
2.3. Fuentes de contaminación atmosférica .....	110
2.4. Fuentes e impactos del dióxido de nitrógeno.....	113
2.5. Fuentes e impactos del dióxido de azufre .....	114
2.6. Efecto invernadero y la lluvia ácida.....	115
2.7. Monitoreo atmosférico.....	115
2.8. Fundamento de los captadores pasivos .....	119
2.9. Legislación peruana .....	123
2.10. Espectrofotometría de absorción ultravioleta visible.....	124
3. Análisis de antecedentes investigativos .....	127
4. Objetivos.....	133
5. Hipótesis .....	133
 <b>CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO OPERACIONAL</b>	
1. Técnicas, instrumentos y materiales de verificación.....	133
2. Campo de verificación .....	149
2.1. Ubicación espacial .....	149
2.2. Ubicación temporal.....	149
2.3. Unidades de estudio .....	149
3. Estrategia de recolección de datos .....	151
 <b>CAPÍTULO IV: CRONOGRAMA DE TRABAJO</b>	
<b>CAPÍTULO V: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
<b>CAPÍTULO V: ANEXOS</b>	

## I. PREÁMBULO

El propósito de desarrollar el presente proyecto de investigación es dar a conocer una idea clara de lo que se desea llevar a cabo para el monitoreo pasivo y la obtención de las concentraciones de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, durante distintos meses en diferentes zonas de la ciudad de Arequipa.

El dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre a concentraciones elevadas son gases tóxicos, los cuales pueden producir efectos adversos (crónicos o agudos) e incrementar la frecuencia y seriedad de los síntomas de respiración baja (bronquitis). Su monitoreo, y el de otros gases contaminantes, es básico para la toma de decisiones para el cuidado del aire; el cual es esencial para la vida en el planeta.

En la actualidad se emplean distintas metodologías para el monitoreo de la calidad del aire; pero los métodos de muestreo pasivo están siendo ampliamente utilizados por su bajo costo y manejo sencillo.

En el presente proyecto se presenta el planteamiento teórico, detallando el problema de investigación, el marco conceptual, el análisis de los principales antecedentes investigativos, así como la mención de los objetivos y la hipótesis. En el planteamiento operacional se describen las técnicas, se lista los instrumentos a utilizar, los materiales de verificación y el campo de verificación (tanto espacial, temporal y las unidades de estudio). Para la recolección de datos se menciona la aplicación del llenado de registros y para la validación de la metodología espectrofotometría se considerará los parámetros fundamentales de validación.

Nuestra ciudad necesita tener un abanico completo, factible y eficiente de metodologías para el monitoreo de contaminación, no solo de la calidad del aire; sino también de aguas y de suelos, todo ello para la determinación de zonas

críticas de contaminación, y así prevenir graves consecuencias irreversibles en contra del medio ambiente.

## II. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Enunciado del problema

Construcción y validación de dispositivos para el monitoreo pasivo y la determinación de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en la ciudad de Arequipa- Perú.

#### 1.2. Descripción del problema

El área de conocimiento específica a la que pertenece el Monitoreo Pasivo para la determinación de dióxido de nitrógeno y de dióxido de azufre es la Química del Medio Ambiente, siendo como áreas de conocimiento general el Control de Calidad del Medio Ambiente, Análisis Instrumental y Diseños de Investigación aplicada.

La ciudad de Arequipa está considerada como parte de las 13 zonas de atención prioritaria (denominadas así por contar con centros poblados o poblaciones mayores a 250 000 habitantes o una densidad poblacional por hectárea que justifiquen su atención prioritaria o con presencia de actividades socioeconómicas con influencia significativa sobre la calidad del aire) en el Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire.

El Plan a Limpiar el Aire (Gesta Zonal de Aire Arequipa) detalla la realización del monitoreo de los siguientes parámetros: monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), ozono troposférico ( $\text{O}_3$ ) y determinación de partículas

como: partículas totales en suspensión (PTS), partículas menores a 10 micras  $PM_{10}$ , y metales pesados como el plomo.<sup>1</sup> En el plan mencionado, se lista y detalla la descripción de algunos de los equipos empleados. En algunos casos se ha utilizado monitoreo automático como red de monitoreo.<sup>2</sup>

Dichas metodologías son costosas y/o complejas, caso contrario de los muestreadores pasivos, cuyas principales ventajas son el bajo costo y simplicidad.<sup>3</sup>

La posibilidad de obtención de resultados adecuados al emplear la metodología de los tubos pasivos, para monitorear dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre en distintas zonas de la ciudad de Arequipa, dependerá de la concentración de los gases contaminantes (variable dependiente), de la ubicación de los tubos y de su tiempo de exposición (variables independientes).

El tipo de investigación a desarrollar será una Investigación Aplicada y el nivel de investigación será Experimental.

### **1.3. Justificación del problema**

#### 1.3.1. Impacto ambiental

- Si se monitorea mediante colectores pasivos, se obtendrán datos de importancia para la toma de decisiones de acción o planes preventivos o correctivos sobre el cuidado del aire.

#### 1.3.2. Impacto social

- Si se monitorea mediante colectores pasivos mostrando los resultados de las zonas de atención prioritaria, se podrá aplicar la misma metodología para otras zonas de la ciudad de Arequipa.

- Si se monitorea aplicando la metodología de los tubos pasivos, los resultados obtenidos servirán como fuente de información para futuras investigaciones.

### 1.3.3. Impacto tecnológico

- Si se monitorea utilizando una metodología simple para la determinación de algunas gases, se podrá aplicar la misma para la determinación de la concentración de otros gases contaminantes (gases que en determinados niveles de concentración en el aire genera riesgos a la salud y al bienestar humanos) en la ciudad de Arequipa.

### 1.3.4. Impacto económico

- Si se monitorea aplicando la metodología de los tubos pasivos, se determinará la concentración de gases contaminantes; no sólo de forma sencilla, sino también de forma económica.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1. Aire

La atmósfera de la tierra o lo que comúnmente se suele llamar “aire”, se define como la mezcla de gases, partículas en suspensión y vapor de agua que envuelven al globo terrestre. El mayor porcentaje de los gases de la atmósfera lo constituyen el nitrógeno y el oxígeno; en mucho menor proporción se encuentra el argón, y en cantidades muy ínfimas el resto de los componentes. Algunos componentes que no llegan a constituir ni el 0.040 % del total, son sustancias contaminantes, dañinas para el medio ambiente y la salud humana, pero sólo cuando se encuentran en cantidades superiores a las que normalmente

contiene la atmósfera en su estado natural.<sup>4</sup> La composición de la atmósfera se muestra en la **TABLA 1**.

**TABLA 1.** Composición de la atmósfera.

Componente	Fórmula	Presencia en la atmósfera*
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	78.084 ± 0.004 %
Oxígeno	O <sub>2</sub>	20.948 ± 0.002 %
Argón	Ar	0.934 ± 0.001 %
Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	Variable ( % ó ppm)
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	352 ppm
Neón	Ne	18 ppm
Helio	He	5 ppm
Kriptón	Kr	1 ppm
Xenón	Xe	0.08 ppm
Metano	CH <sub>4</sub>	2 ppm
Hidrogeno	H <sub>2</sub>	0.5 ppm
Oxido nitroso	N <sub>2</sub> O	0.3 ppm
Monóxido de carbono	CO	0.05 – 0.2 ppm
Ozono	O <sub>3</sub>	0.02 – 10 ppm
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	4 ppb
Dióxido de nitrógeno	NO <sub>2</sub>	1 ppb
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	1 ppb
Sulfuro de hidrogeno	H <sub>2</sub> S	0.05 ppb

\* Todos los porcentajes son en volumen

*Fuente: Zanetta, A. Joint Research Centre, European Commission.*

## 2.2. Contaminación atmosférica

Cuando se habla de contaminación atmosférica, se está hablando de la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza, las cuales pueden atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. El nombre de la contaminación atmosférica se aplica por lo general a las alteraciones que tienen efectos adversos en los seres vivos y los elementos materiales, y no a otras alteraciones inocuas.

Las actividades humanas han contribuido eficazmente al aumento de las emisiones de contaminantes a la atmósfera a niveles que puedan promover el cambio a escala global, con posibles consecuencias catastróficas para la humanidad, por ejemplo, el agotamiento de la capa de ozono estratosférico y el aumento del efecto invernadero.

Para un control más efectivo de la contaminación y para evaluar los posibles efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la salud humana y en el medio ambiente, es necesario desarrollar estrategias alternativas de seguimiento, que son económicamente viables, de fácil manejo, que se puede utilizar en diferentes áreas incluyendo zonas remotas, y proporcionando información fiable sobre la concentración de contaminantes.<sup>5</sup>

Desde el punto de vista de la salud humana, los contaminantes del aire no sólo pueden afectar si se inhalan directamente, también pueden ser ingeridos en forma indirecta a través de la comida y el agua o absorbidos por la piel a través del contacto con los diferentes bienes materiales, ya que en todos estos pueden depositarse dichos contaminantes.

Desde el punto de vista químico los contaminantes pueden clasificarse en primarios y secundarios. Los *primarios* son aquellas sustancias que se generan a nivel del suelo y son emitidas directamente a la atmósfera desde una fuente identificable. Los principales de esta categoría son el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), partículas suspendidas, compuestos orgánicos volátiles (VOC por sus siglas en Inglés), metales pesados y los hidrocarburos aromáticos policíclicos. Los *contaminantes secundarios* son aquellos que se generan en la atmósfera mediante las reacciones de dos o más contaminantes primarios entre sí o con alguno de los componentes habituales del aire, con o sin fotoactivación (acción de la luz ultravioleta del sol). Los principales de esta categoría son el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), óxido nitroso

(N<sub>2</sub>O), ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (VOC).<sup>4</sup>

### 2.3. Fuentes de contaminación atmosférica<sup>6,7</sup>

#### *Naturales*

Los focos de emisión naturales los constituyen principalmente los volcanes, los incendios forestales, descomposición de la materia orgánica en suelos y océanos, partículas de agua que arrastran sales en las brisas marinas. Virus y polvo que provienen del suelo arrastradas por los vientos. Polen y esporas de la vegetación. La emisión natural de estos contaminantes no provoca alteraciones en los ciclos biogeoquímicos.

#### *Antropogénicos*

- Focos fijos: polígonos industriales, instalaciones productoras de energía e incineradoras. Calefacciones (sobretudo diesel).
- Focos móviles: vehículos de transporte (automóviles, aeronaves y barcos).
- Focos compuestos: Áreas extensas con aglomeraciones de muchas emisiones (Áreas urbanas).

Las emisiones naturales son mucho más altas porque están dispersas (ver **TABLA 2**). Las emisiones antropogénicas están más localizadas, por lo que la contaminación es local. La dispersión de los contaminantes ayuda a atenuar la contaminación local, pero no es la solución.

**TABLA 2.** Proporción de focos de emisión de contaminantes.

<b>Contaminantes</b>	<b>Antropogénicos (%)</b>	<b>Naturales (%)</b>
<b>Aerosoles</b>	11.3	88.7
<b>SO<sub>x</sub></b>	42.9	57.1
<b>CO</b>	9.4	90.6
<b>NO</b>	11.3	88.7
<b>HC</b>	15.5	84.5

*Fuente: García, P. Apuntes de química del medio ambiente.*

### ***Emisión de contaminantes***

#### *a) Contaminantes emitidos por la agricultura*

La quema de rastrojos, la recolección de cosechas (operación de cosechadoras, carga de camiones, transporte por el campo, aireación de las tierras de cultivo), fumigación y abonar el campo son actividades agrícolas que emiten contaminantes.<sup>7</sup>

#### *b) Contaminantes de origen doméstico y comercial*

Aclimatación de los espacios, cocinas (emisión de grasas, PAH's, olores), procesos de limpieza (usos de disolventes, polvo, propelentes de aerosoles, compuestos clorados), jardinería, procesos de pinturas (vapores de disolventes), procesos de lavado de ropa, etc.<sup>7</sup>

#### *c) Contaminantes emitidos por la industria.*

Los contaminantes emitidos por las industrias son muy amplios ya que dependen de los procesos de producción, el avance tecnológico, calidad de las materias primas utilizadas. Actividades industriales más contaminantes:

- Siderurgia integral. Emite  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , CO, fluoruros (fundentes), humos rojos ( $\text{FeO}_x$ ) y gran cantidad de partículas.
- Refinerías de petróleo. Emite  $\text{SO}_x$  (procesos de desulfuración del crudo), HC, CO,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ , mercaptanos, humos y partículas.
- Industrias químicas. Emite  $\text{SO}_x$ , nieblas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  y  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (por la fabricación de fertilizantes y explosivos), HS, mercaptanos, disolventes orgánicos.
- Industrias alimentarias e industrias de productos fitosanitarios.
- Industrias de obtención de aluminio. Se obtiene de la electrólisis de la criolita y la bauxita, por lo que los contaminantes son principalmente flúor (ánodo).
- Industrias relacionadas con la construcción. Cementeras e industrias que manejan amiantos y asbestos como materiales de construcción.<sup>7</sup>

#### *d) Contaminantes emitidos por los vehículos automóviles*

##### *Motores de gasolina*

Si el motor funciona eficazmente toda la gasolina debería quemarse y producir  $\text{CO}_2$  únicamente. El problema se encuentra en el arranque, pues se emite mucha gasolina sin quemar ya que el motor está muy frío. Una posible solución es la utilización de una batería de 48 V para que el arranque sea totalmente eléctrico. (ver **TABLAS 3 y 4**)

##### *Motores diesel*

El problema es que el diesel contiene un alto porcentaje de PAH's que son emitidos directamente a la atmósfera en el arranque. La solución consiste en enriquecer el combustible del motor de arranque en HC lineales mediante la separación selectiva de la mezcla diesel. (ver **TABLAS 3 y 4**).

**TABLA 3.**Concentración de emisiones (g/L) de diferentes contaminantes según el uso de gasolina o diesel.

<b>Contaminantes</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Diesel</b>
<b>CO</b>	360	7
<b>NO<sub>x</sub></b>	15	20
<b>HC</b>	30	40
<b>Partículas</b>	1	14
<b>SO<sub>x</sub></b>	-	0.5

*Fuente: García, P. Apuntes de química del medio ambiente.*

**TABLA 4.**Contribución porcentual de contaminantes según la industria.

<b>Sectores</b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>Partículas</b>
<b>Energética</b>	73	68.5	31.7
<b>Cementera</b>	3.2	3.7	27.2
<b>Siderurgia</b>	6.4	2.6	24.3
<b>Química</b>	7	18	6
<b>Alimentaria</b>	3	3	3

*Fuente: García, P. Apuntes de química del medio ambiente.*

#### **2.4. Fuentes e impactos del dióxido de nitrógeno**

El dióxido de nitrógeno es un importante indicador de la contaminación del aire, debido a que la concentración de NO<sub>2</sub> se correlaciona bien con la concentración de monóxido de carbono, partículas de hidrocarburos aromáticos policíclicos (*Lewis et al., 1995*) y el hollín (*Boweret al., 1991*). Además NO<sub>2</sub> es el más tóxico de los óxidos de nitrógeno.<sup>8</sup>

Las emisiones de óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>= NO + NO<sub>2</sub>) a la atmósfera tienen un impacto directo sobre el medio ambiente y la salud humana a través de la formación de ozono y otros oxidantes fotoquímicos y la deposición de acidez.

Los vínculos entre la contaminación atmosférica y los resultados adversos para la salud (por ejemplo, la frecuencia y severidad de los ataques de asma) están bien documentados (*Doll de 1997*).

Un estudio por *Schwartz (1990)* demostró la asociación entre síntomas respiratorios y las concentraciones al aire libre de NO<sub>2</sub>. En contraste con la mayoría de los contaminantes del aire, las concentraciones de NO<sub>2</sub> no han disminuido en los últimos años (*Doll de 1997*).<sup>11,12,13</sup>

## **2.5. Fuentes e impactos del dióxido de azufre**

El dióxido de azufre suele ser emitido durante la combustión de combustibles fósiles de baja calidad. Hay muchos tipos de fuentes antropogénicas, como las emisiones industriales, el tráfico, la calefacción doméstica y cocina.<sup>14</sup>

Alto nivel de exposición al SO<sub>2</sub> se ha relacionado con el aumento de ingreso en el hospital por bronquitis crónica (*Ciccone et al., 1995*), bajo peso al nacer (*Rogers et al., 2000*) y la reducción de las tasas de natalidad (*Dejmek et al., 2000*).

Los óxidos de azufre penetran a través de las vías respiratorias dañando los órganos del sistema respiratorio. Estos órganos están recubiertos de mucosas muy hidratadas por lo que el SO<sub>2</sub> se diluye en agua transformándose en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, provocando quemaduras, irritaciones y lesiones más o menos fuertes; aunque su efecto depende de otros contaminantes presentes en el aire simultáneamente con el SO<sub>2</sub>. El SO<sub>2</sub> termina depositándose en los alvéolos pulmonares en forma de partículas.<sup>7</sup>

## 2.6. Efecto invernadero y la lluvia ácida

La lluvia normalmente presenta un pH de aproximadamente 5.65 (ligeramente ácido), debido a la presencia del  $\text{CO}_2$  atmosférico, que forma ácido carbónico,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Se considera lluvia ácida si presenta un pH de menos de 5 y puede alcanzar el pH del vinagre (pH 3). Estos valores de pH se alcanzan por la presencia de ácidos como el ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , y el ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ . Estos ácidos se forman a partir del dióxido de azufre y el monóxido de nitrógeno que se convierten en ácidos.

Los hidrocarburos y el carbón usados como fuente de energía, en grandes cantidades, pueden también producir óxidos de azufre y nitrógeno y el dióxido de azufre emitidos por fábricas, centrales eléctricas y vehículos que queman carbón o productos derivados del petróleo. En interacción con el vapor de agua, estos gases forman ácido sulfúrico y ácidos nítricos.

Finalmente, estas sustancias químicas suben a la atmósfera forman una nube y después caen a la tierra acompañando a las precipitaciones, constituyendo la lluvia ácida, la cual cae en cultivos y estos después serán consumidos por el ser humano.<sup>15</sup>

## 2.7. Monitoreo atmosférico

Se define como monitoreo atmosférico a todas las metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de sustancias o de contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado.

Los datos de monitoreo deberán servir como base para la toma de decisiones de las políticas de manejo de la calidad del aire. Además, el monitoreo es una

herramienta de evaluación de las medidas de control adoptadas para emisiones.

16

#### ***a) Muestreo activo***

El muestreo activo requiere un número relativamente grande de muestras que se recogen de un lugar para la duración de los muestreos. Una bomba y un medidor de flujo son necesarios para forzar el flujo de la muestra a través de la trampa y midiendo el volumen o rangos de flujo de la muestra. Este tipo de enfoque es de mucho tiempo y puede ser muy costoso. El muestreo activo con la bomba puede alterar la región de muestreo y conducir a resultados poco fiables. El bombeo también puede causar la pérdida de compuestos volátiles.

Las técnicas para el seguimiento a largo plazo son más comunes siendo basadas en un muestreo pasivo, ya que el muestreo pasivo simplifica enormemente tanto la toma de muestras y los pasos de preparación de muestras, elimina los requisitos de energía y reduce significativamente el costo de los análisis.<sup>17</sup>

#### ***b) Muestreo pasivo***

La definición generalizada de muestreo pasivo proporcionada por *Gorecki* y *Namiesnik* toma en cuenta el transporte analito resultante de fuerzas diversas, incluida la concentración, presión, temperatura y los gradientes de fuerza electromotriz, que se puede reducir a fundamentales gradientes de potencial químico.

A pesar de que muchos de los diseños diferentes de muestreadores pasivos están disponibles en el mercado hoy en día, casi todos ellos (con algunas excepciones) consisten en una barrera y un material adsorbente, y la geometría de los cuales se eligen cuidadosamente para el tipo específico de analito y la matriz.

La barrera es generalmente uno de dos tipos: una capa estática del medio circundante (muestreadores tipo de difusión) o una membrana de polímero (muestreadores tipo de penetración). El material de absorción por otra parte puede ser de muchos tipos diferentes.

#### *Dispositivos pasivos de muestreo (PSD)*

Los captadores o permeadores pasivos son dispositivos de toma de muestra, generalmente con forma de tubo o disco; los cuales recogen un contaminante específico por medio de su adsorción y/o absorción en un sustrato químico seleccionado. Después de su exposición durante un apropiado periodo de muestreo, que varía desde un par de horas hasta un mes, la muestra regresa al laboratorio, donde se realiza la desorción del contaminante y después se analiza cuantitativamente.<sup>18</sup>

Muestreadores pasivos (a veces llamados muestreadores difusivos) han sido definidos por el Comité Europeo de Normalización como: "Un dispositivo que es capaz de tomar muestras de gases o vapores de la atmósfera a una velocidad controlada por un proceso físico como la difusión gaseosa a través de una capa de aire estática o un material poroso y/o penetración a través de una membrana, pero que no implica movimiento activo de aire a través del dispositivo".<sup>19</sup>

Los resúmenes del "First International Symposium on Diffuse Sampling" que tuvo lugar en Luxemburgo en el año 1986 definían a los captadores pasivos como: "Un difusor pasivo es un dispositivo capaz de captar muestra de contaminantes de gas o de vapor de la atmósfera, con una velocidad controlada por un proceso físico como la difusión a través de una capa de aire estático, o de permeación a través de una membrana, sin la intervención de un movimiento activo de aire a través del captador".

Finalmente, el hecho de que sean gobernados por un proceso físico de difusión se traduce en que las dimensiones físicas del captador son el principal factor que gobierna la velocidad de muestreo (*Brown 2002*).

#### *Clasificación de acuerdo al diseño*

De acuerdo a su diseño, los muestreadores de difusión pasiva se pueden clasificar en tipo tubo, placa, radial y tipo cartucho (*Krupa y Legge, 2000*). Los diferentes tipos de muestras pueden tener tasas de captación sustancialmente diferentes, que los hacen más o menos adecuados a ciertas aplicaciones (*Yu et al., 2008*).<sup>20</sup>

Por ejemplo, los muestreadores de tipo placa y radial tienen normalmente mayores tasas de captación debido a la trayectoria de difusión más corta y mayor área de difusión, que los hacen aptos para la evaluación de plazos relativamente cortos (por ejemplo, media diaria) de exposición personal/ocupacional de aire contaminado.

Por otro lado, los muestreadores tipo tubo tienen por lo general menores tasas de captación debido a la trayectoria de difusión axial larga y al área de difusión transversal más pequeña, que los hacen aptos para la evaluación de un plazo relativamente largo (por ejemplo, media mensual) para los niveles de calidad del aire ambiental.<sup>21</sup>

*Muestreadores de difusión tipo tubo:* La geometría de los muestreadores de difusión tipo tubo es muy importante. Si la barrera de difusión definida por la toma de muestras no es lo suficientemente eficiente, la velocidad de muestreo de la toma de muestras puede ser tan elevado que conduce al agotamiento de la sustancia analizada en el aire alrededor del tubo de entrada, sobre todo cuando el aire alrededor de la entrada está estancado o se mueve muy lentamente. En

consecuencia, la tasa de muestreo de las disminuciones de muestras y la exactitud de la medición se perjudican.

Este efecto puede ser eliminado, ya sea asegurándose que la velocidad del aire alrededor de la toma de muestras sea lo suficientemente alta, o bien seleccionando la geometría de la toma de muestras. En general, el efecto de la velocidad del aire del ambiente disminuye cuando el diámetro de la toma de muestras disminuye, y prácticamente desaparece cuando la relación longitud / diámetro ( $L / A$ ) llega a 7:1.<sup>22</sup>

La velocidad de absorción de gases contaminantes de un muestreador de difusión simple tipo tubo es controlada por la longitud del camino de difusión y la zona interna de la sección transversal de la toma de muestras.<sup>23</sup>

## 2.8. Fundamentos de los captadores pasivos<sup>16, 24</sup>

Los captadores pasivos para la captación de gases se rigen por la Ley de Fick que relaciona el flujo de un gas que difunde desde una región de alta concentración (extremo abierto del tubo), con el tiempo de exposición y el área del captador, que está expuesto al contaminante (*Delgado, 2004*).<sup>25</sup>

Esta ley, conocida como la Primera Ley de Fick de la difusión, fue descubierta empíricamente por Fick en el año 1855, aun desconociendo por aquel entonces la existencia de las moléculas.<sup>18</sup>

La Ley de Fick se expresa mediante la **Ec. (1)**. La cantidad de gas ( $Q$ ) en moles, que difunde a través de un captador pasivo con un área de sección transversal ( $a$ ) en  $\text{cm}^2$  y una longitud  $L$  (cm) por unidad de tiempo ( $h$ ) de exposición, se expresa en la **Ec. (2)**.

$$F = \frac{D^* [X]}{L} \quad (1)$$

Donde:

$F$  = flujo del contaminante  $X$  (mol/cm<sup>2</sup>.min).

$D_T$  = coeficiente de difusión del gas (cm<sup>2</sup>/min).

$[X]$  = concentración ambiental del contaminante  $X$  (mol/cm<sup>3</sup>).

$$Q = F * a * t \quad (2)$$

Sustituyendo el valor de  $F$  de la **Ec. (1)** en la **Ec. (2)**, se tendrá la **Ec. (3)**.  
Teniendo en cuenta que el cociente de captación (**Ec. (4)**), expresado en cm<sup>3</sup>/min ( $S$ ), se puede sustituir en la **Ec. (3)**; entonces se tendrá la **Ec. (5)**.

$$Q = \frac{D_T * [X] * a * t}{L} \quad (3)$$

$$S = \frac{D_T * a}{L} \quad (4)$$

$$Q = S * [X] * t \quad (5)$$

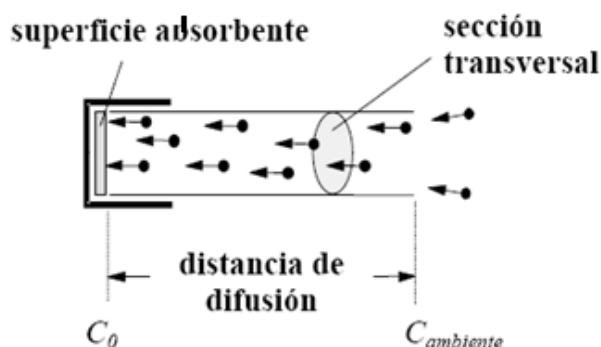
Finalmente, la **Ec. (5)** puede ser despejada de acuerdo a la **Ec. (6)**.

$$[X] = \frac{Q}{S * t} \quad (6)$$

Por lo tanto, conociendo el coeficiente de captación ( $S$ ) del captador pasivo, la cantidad de gas en moles que ha difundido a través del captador ( $Q$ ) y el tiempo que ha estado expuesto ( $t$ ), se conocerá la concentración ambiental promedio del contaminante  $X$  en el aire durante el periodo muestreado (*Galan et al., 2001*).<sup>25</sup>

Es así que, en el difusor pasivo existe un volumen de aire donde se produce un gradiente de concentraciones desde la parte externa del volumen en contacto con el ambiente exterior y con una concentración ambiental, hasta la parte

interna, donde se encuentra el agente adsorbente, y que tiene una concentración nula de dicho contaminante a determinar. Esta gradiente de concentraciones producidas es la fuerza que mueve al contaminante por difusión a través del captador hasta llegar al adsorbente.(ver **FIGURA 1**)<sup>18</sup>



**FIGURA 1.** Esquema de la difusión molecular hacia un medio adsorbente (difusión pasiva).<sup>26</sup>

### 2.8.1. Factores clave en los captadores pasivos

#### *Elección del adsorbente*

El funcionamiento del captador pasivo depende críticamente de la selección y uso del adsorbente adecuado el cual debe tener una eficiencia de absorción elevada para el contaminante que se quiera medir. De esta forma, la presión de vapor residual del contaminante muestreado en la superficie del adsorbente será muy pequeña con relación a la concentración del contaminante en el ambiente y la velocidad de captación será próxima a la del estado estacionario.

En el caso en el que se utilice un adsorbente débil, la presión de vapor del contaminante muestreado no será nula, por lo tanto la diferencia de concentraciones entre el ambiente y el captador (que es la fuerza impulsora del proceso de difusión) será menor y el flujo del contaminante decrecerá con el tiempo de muestreo.

Otra manifestación de una mala elección del adsorbente es la retrodifusión o difusión inversa. Esto puede suceder cuando después de un tiempo de muestreo la concentración del contaminante es mayor en la superficie del adsorbente que la concentración en el ambiente externo, por lo tanto la fuerza impulsora de la difusión va en dirección contraria (*Brown 2002*).<sup>18</sup>

### *Geometría del captador*

La geometría del captador es un aspecto clave que afecta al coeficiente de captación efectivo  $S$ , tal y como muestra la propia **Ec. ( 4)**.

$$S = \frac{D_T * a}{L} \quad (4)$$

La sección transversal del captador ( $a$ ) y la longitud de difusión en el interior del captador ( $L$ ) determinan principalmente el coeficiente de captación ( $S$ ) o velocidad de captación para un contaminante determinado.<sup>18</sup>

### *Efectos de los factores ambientales*

Los factores ambientales pueden afectar a los captadores pasivos. Entre ellos podemos destacar la velocidad del aire, variaciones bruscas de la concentración de contaminantes y la temperatura.

Los más importantes de todos ellos son la temperatura y la presión, las cuales afectan directamente el coeficiente de difusión ( $D_T$ ) y pueden afectar también la capacidad del adsorbente (*Brown 2002*).<sup>27</sup>

## 2.9. Legislación Peruana

Según el **Decreto Supremo N° 074-2001-PCM**: Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire, se define:

Contaminante del aire.- Sustancia o elemento que en determinados niveles de concentración en el aire genera riesgos a la salud y al bienestar humano.

Estándares de Calidad del Aire.- Aquellos que consideran los niveles de concentración máxima de contaminantes del aire que en su condición de cuerpo receptor es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana, los que deberán alcanzarse a través de mecanismos y plazos detallados en la presente norma. Como estos Estándares protegen la salud, son considerados estándares primarios.

Estándares Primarios de Calidad del Aire.- Los estándares primarios de calidad del aire consideran los niveles de concentración máxima de los siguientes contaminantes del aire:

- a) Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
- b) Material particulado con diámetro menor o igual a 10 micrómetros (PM-10)
- c) Monóxido de carbono (CO)
- d) Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- e) Ozono (O<sub>3</sub>)
- f) Plomo (Pb)
- g) Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)

**TABLA 5.** Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.

(Todos los valores son concentraciones en microgramos por metro cúbico. NE significa no exceder)

CONTAMINANTES	PERIODO	FORMA DEL ESTANDAR		METODO DE ANALISIS <sup>1[1]</sup>
		VALOR	FORMATO	
Dióxido de azufre	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	356	NE más de 1 vez al año	
PM-10	Anual	50	Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	24 horas	150	NE más de 3 veces/año	
Monóxido de carbono	8 horas	10000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	1 hora	30000	NE más de 1 vez/año	
Dióxido de nitrógeno	Anual	100	Promedio aritmético anual	Quimiluminiscencia (Método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces/año	
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (Método automático)
Plomo	Anual <sup>2[2]</sup>			Método para PM10 (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Mensual	1.5	NE más de 4 veces/año	
Sulfuro de hidrógeno	24 horas <sup>2</sup>			Fluorescencia UV (método automático)

1[1] Un método equivalente aprobado.

2[2] A determinarse según lo establecido en el Artículo 5 del presente reglamento.

### 2.10. Espectrofotometría de absorción ultravioleta-visible<sup>22</sup>

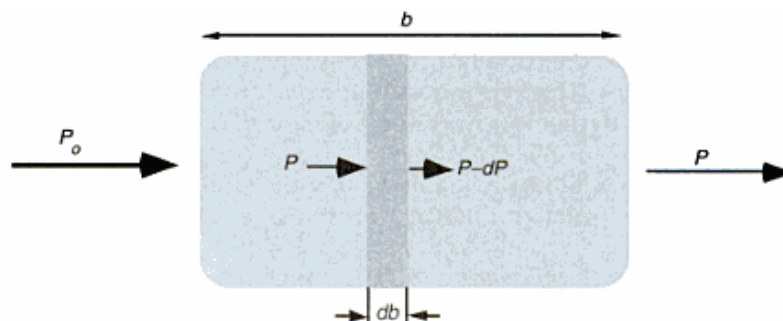
La espectrofotometría de absorción en las regiones ultravioleta y visible del espectro electromagnético es, posiblemente, la más utilizada en la práctica del análisis cuantitativo de todas las técnicas espectroscópicas. Asimismo, puede

resultar de utilidad como técnica auxiliar para la determinación de estructuras de especies químicas.

Se basa en la absorción de radiación ultravioleta y visible por el analito, como consecuencia de lo cual se origina un estado activado que posteriormente elimina su exceso de energía en forma de calor. La cantidad de calor disipado es muy pequeño, por lo que el método tiene la ventaja de originar un trastorno mínimo en el sistema que se estudia.

### *Leyes de la absorción de radiación*

Cuando un haz de radiación monocromática de una determinada longitud de onda atraviesa una capa de disolución conteniendo una especie absorbente, la potencia (energía por unidad de tiempo y unidad de área) del haz incidente  $P_o$  se atenúa, disminuyendo hasta  $P$  (FIGURA 2).



**FIGURA 2.** Absorción de radiación.

Se define **la transmitancia**,  $T$ , como la fracción de radiación incidente que consigue atravesar la muestra. Varía de 0 a 1 y puede expresarse también como porcentaje.

Un parámetro de mayor utilidad práctica es **la absorbancia**,  $A$ , definida en la **Ec. (7)**.

$$A = -\log T = \log \frac{P_o}{P} \quad (7)$$

Obsérvese que cuando no hay absorción de radiación,  $P = P_o$  y entonces,  $A = 0$ , mientras que si absorbe el 99%, sólo se transmite el 1%, con lo que  $A = 2$ .

Para una capa de disolución absorbente de espesor infinitamente pequeño,  $db$  (**FIGURA 2**), la disminución de la potencia radiante,  $dP$ , es proporcional a la propia potencia incidente,  $P$ , a la concentración de la especie absorbente,  $C$ , y al espesor  $db$ :

$$dP = -kPCdb$$

donde  $k$  es una constante de proporcionalidad. Reagrupando la ecuación anterior e integrando, se obtiene:

$$\begin{aligned} \frac{dP}{P} &= -k C db \\ \int_{P_o}^P \frac{dP}{P} &= -\int_0^b k C db \\ \ln\left(\frac{P}{P_o}\right) &= -k C b = 2,3 \log\left(\frac{P}{P_o}\right) \\ \log\left(\frac{P}{P_o}\right) &= -\log T = A = \varepsilon b C \end{aligned}$$

donde,  $\varepsilon = k/2.3$ . La expresión

$$A = \varepsilon * b * C$$

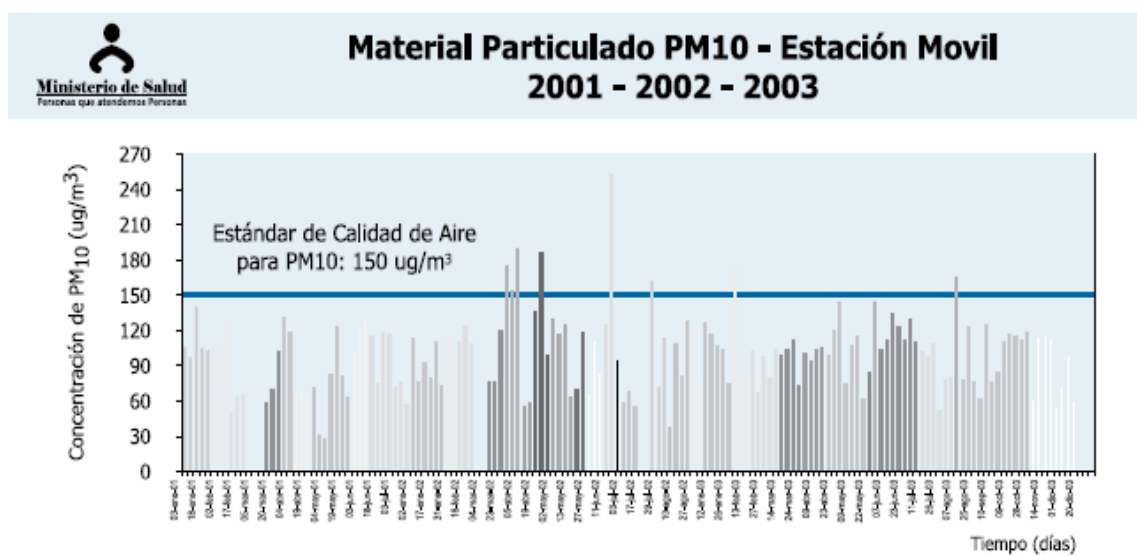
se denomina **ley de Beer**. Es fundamental en análisis cuantitativo al relacionar la absorbancia con la concentración.

La constante  $\epsilon$  recibe el nombre de absorptividad molar, cuando la concentración se expresa en moles/litro y el camino óptico,  $b$ , en centímetros. La absorptividad es una propiedad característica de la sustancia absorbente y depende de la longitud de onda. Por ello, para aplicar la ley de Beer debe seleccionarse una determinada longitud de onda, y para este propósito se utiliza el espectro de absorción, siendo éste una gráfica que indica la variación de la absorbancia, o de la absorptividad, con la longitud de onda.<sup>14</sup>

### 3. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

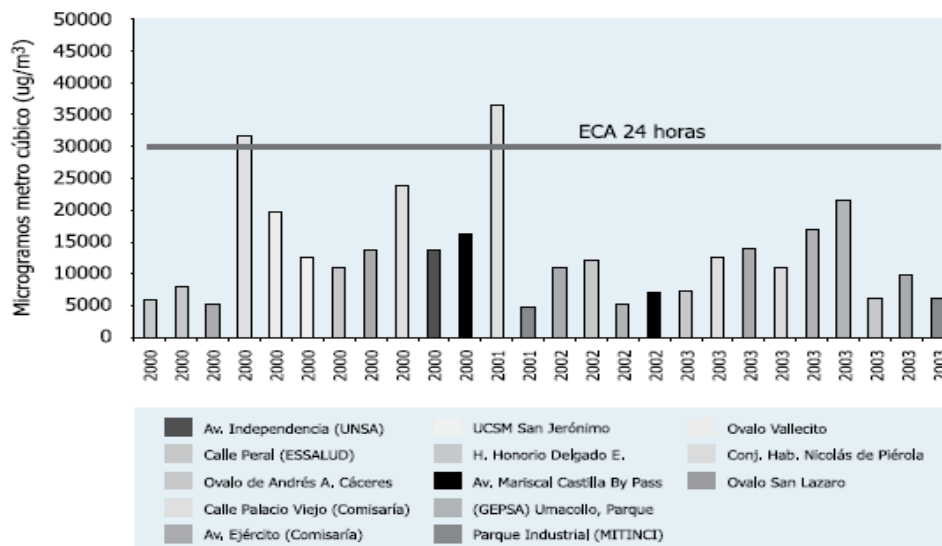
#### 3.1. *Plan a Limpiar el Aire. Gesta Zonal de Aire Arequipa (2005)*

El Plan a Limpiar el Aire propuso la implementación de estrategias y medidas técnicas para reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos en Arequipa, donde han ocasionado la superación de los estándares de calidad ambiental del aire, poniendo en riesgo la salud de la población y produciendo impactos negativos en el ambiente. Los resultados que se esperaron fueron mejorar la calidad de aire en la ciudad de Arequipa, reducir las concentraciones de  $PM_{10}$  y CO y evitar los estados de alerta donde la salud de la población sea afectada.



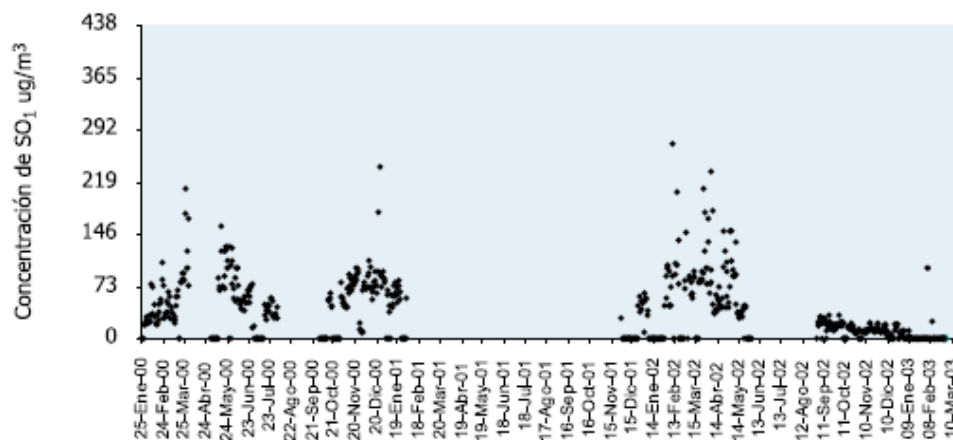
Fuente: Dirección Regional de Salud

**Máximos promedios móviles de 8 horas**  
**Punto de muestreo de Monóxido de Carbono ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )**  
**Estación de Muestreo Móvil, periodo del 2000 al 2003**



Fuente: Dirección Regional de Salud Arequipa  
 Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental

**Concentraciones de 24 horas de dióxido de azufre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )**  
**Estación de Monitoreo de Goyeneche - Periodo del 2000 al 2003**

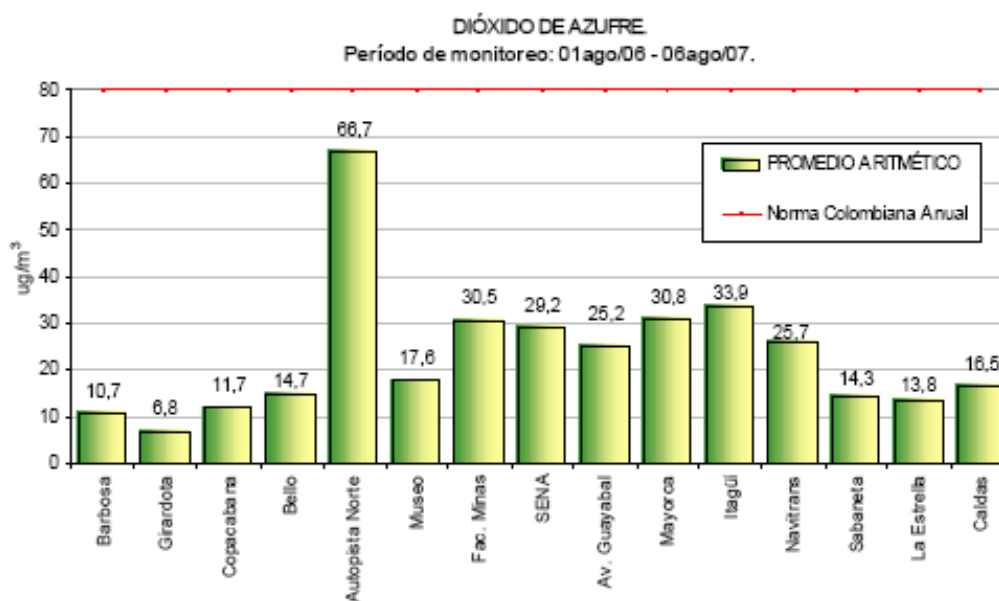


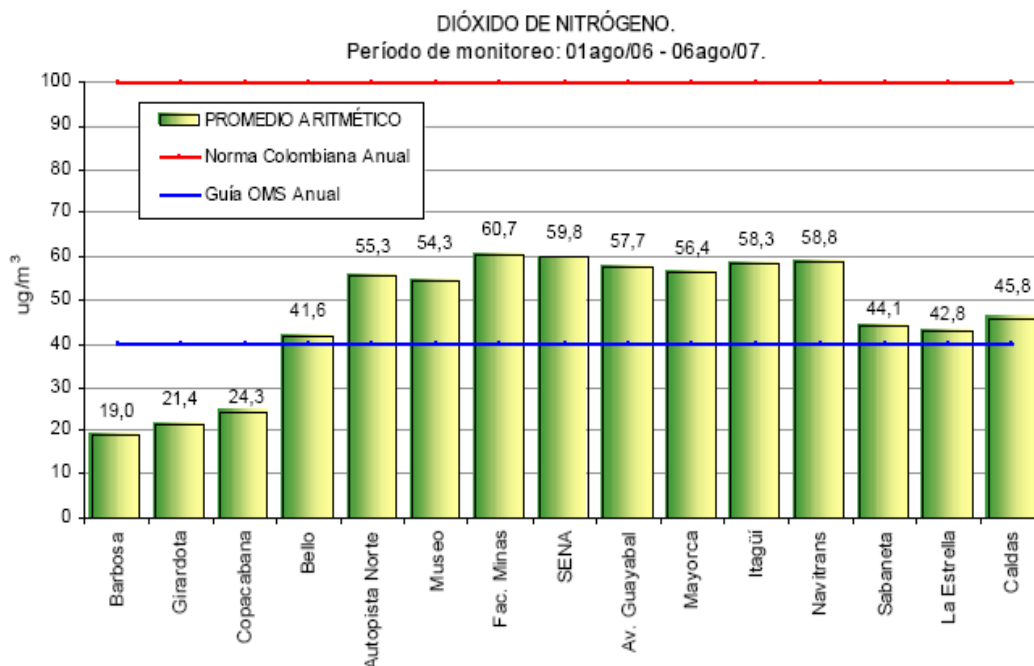
Fuente: Dirección Regional de Salud Arequipa  
 Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental

3.2. *Fortalecimiento de la red de monitoreo de la calidad del aire en el Valle de Aburrá con medidores pasivos (2005) - Convenio Interadministrativo No. 606 de 2005 entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.*

El objetivo principal del estudio fue fortalecer la monitoría de la calidad del aire en las zonas urbanas del valle de Aburrá mediante la evaluación de las concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), compuestos orgánicos volátiles (BTX) y la determinación de la tasa de colección de partículas sedimentables en las principales vías del valle de Aburrá.

Se concluyó que la concentración promedio anual de NO<sub>2</sub> por monitoreo pasivo pasó los límites establecidos por la OMS Anual, más no la norma Colombiana; en el caso de la concentración promedio anual de SO<sub>2</sub>, no paso los límites establecidos por la norma colombiana.

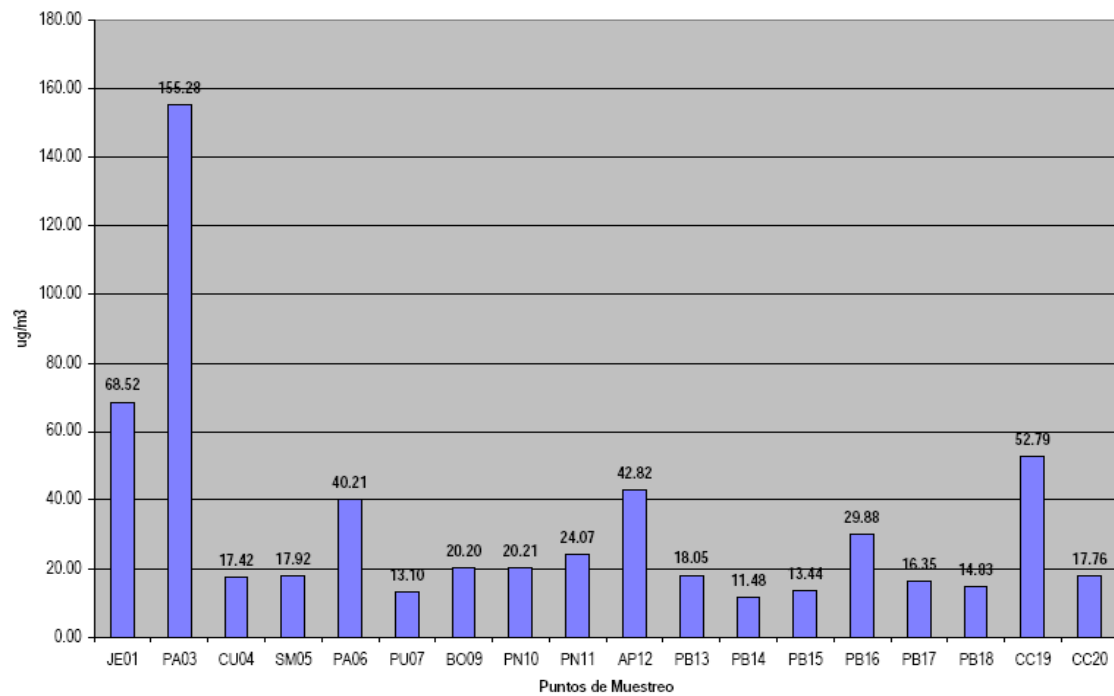




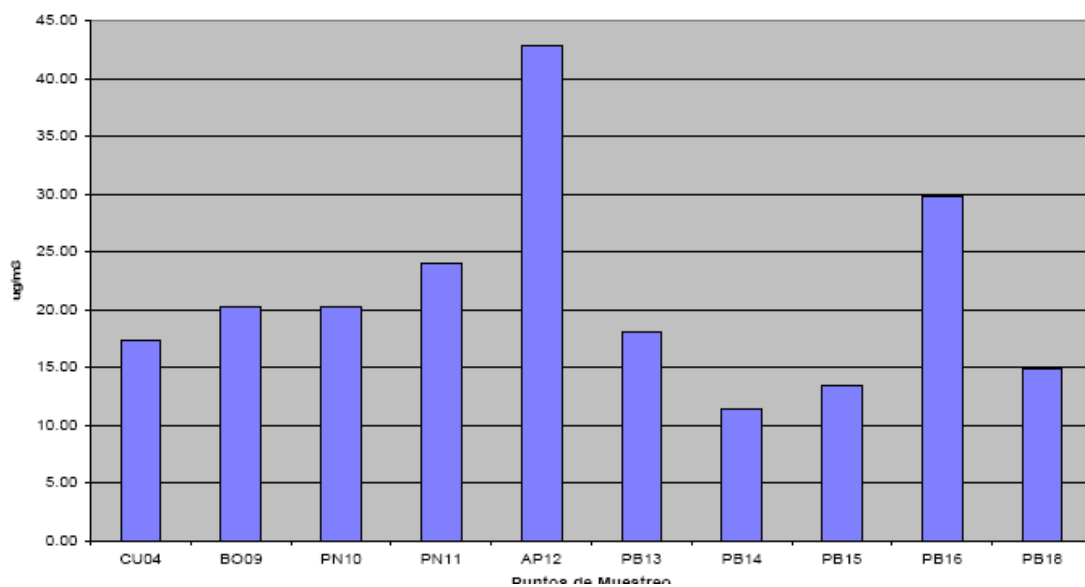
### 3.3. Estudio de Saturación de dióxido de azufre en el Tambo – Arequipa (2006)

El Estudio de Saturación de dióxido de azufre en el Tambo – Arequipa, tiene como objetivo principal la determinación de las concentraciones de SO<sub>2</sub> en la zona comprendida por el Valle del río Tambo, con énfasis en el distrito de Punta Bombón.

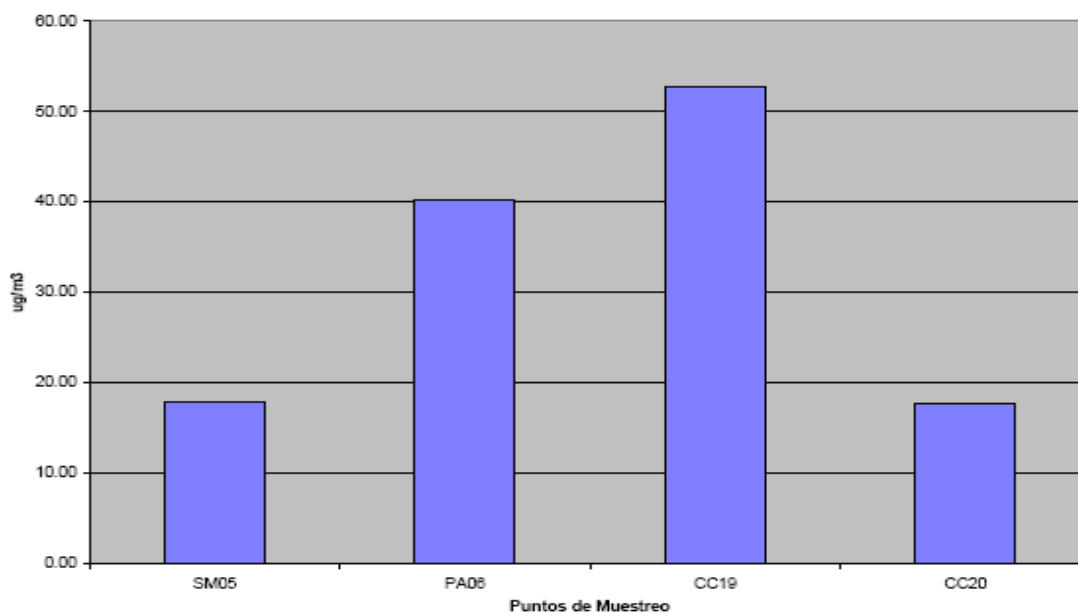
Para cumplir con este objetivo DEUMAN instaló dispositivos pasivos en diferentes puntos de manera de cubrir toda la zona de estudio. Los resultados del monitoreo muestran concentraciones considerables de dióxido de azufre en las zonas de estudio. Se concluyó que la concentración encontrada si bien es cierto no alcanza valores que podrían superar el estándar de calidad del aire anual, los pobladores de las zonas ubicadas al norte de la fundición están permanentemente expuestos a concentraciones de dióxido de azufre que podrían ocasionar daños crónicos.



**FIGURA 3.** Concentración de dióxido de azufre en todos los puntos de muestreo.



**FIGURA 4.** Concentración de dióxido de azufre en los centros poblados de Punta Bombón, Bombón, Catas, La Curva.



**FIGURA 5.** Concentración de dióxido de azufre en el Valle del Tambo (río arriba).

3.4. *Monitoreo y Simulación de la Calidad de aire en la ciudad de Cuenca (2009)* - Universidad Politécnica Salesiana.

En rápido crecimiento del parque automotor a partir del año 2000 en la ciudad de Cuenca, representa un problema latente ya que como consecuencia tenemos el incremento del ruido y la contaminación de aire. Se describió los principios teóricos de las metodologías empleadas en el Monitoreo de Calidad de Aire. Se concluyó que se debe fomentar la investigación en el campo de las técnicas de monitoreo pasivo, con el fin de perfeccionar las mismas y a la vez abaratar costos especialmente en materia de reactivos.

#### 4. OBJETIVOS

- 4.1. Construir dispositivos de difusión pasiva tipo tubo para el monitoreo de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre.
- 4.2. Ejecutar la estandarización de dos metodologías espectrofotométricas para la determinación de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre.
- 4.3. Realizar el monitoreo pasivo de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre en distintas zonas de la ciudad de Arequipa.
- 4.4. Comparar estadísticamente los resultados obtenidos de los dispositivos contruidos frente a los distribuidos por la empresa Klepel Consulting S.A.C. para el monitoreo de dióxido de nitrógeno.

#### 5. HIPÓTESIS

Debido a que se ha reportado el uso de dispositivos de difusión pasiva tipo tubo para el monitoreo de calidad de aire, es probable que dispositivos contruidos con materiales accesibles y de bajo costo puedan ser utilizados para el monitoreo de ciertos gases contaminantes en la ciudad de Arequipa.

### III. PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

#### 1. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN

##### 1.1. Técnicas

##### *Construcción de dispositivos de difusión pasiva tipo tubo y contenedor*

Para la construcción del dispositivo que servirá para la determinación de dióxido de nitrógeno, se considerará las dimensiones establecidas por el

Laboratorio analítico para el medio ambiente (Männedorf SUIZA, cuya empresa representante en el Perú es Klepel Consulting S.A.C.). El material usado por dicho laboratorio para la construcción del dispositivo será usado como referencia.

Por otro lado, para el caso de los dispositivos para el monitoreo de dióxido de azufre se utilizará como diseño modelo a los utilizados por la empresa Deuman S.A.C. Con respecto a su material de construcción, se utilizará el usado para la construcción de los dispositivos para la determinación de dióxido de azufre.

Con respecto al contenedor (dispositivo especial, usado para la protección de la lluvia y minimización de la influencia del viento), el cual servirá para la instalación de los dispositivos para su exposición, será construido de un material accesible y similar en las dimensiones a los distribuidos por el laboratorio anteriormente mencionado.

Una vez los dispositivos y el contenedor construidos se iniciarán los ensayos respectivos para las determinaciones de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre.

### ***Determinación de dióxido de nitrógeno***

#### *Fundamento*

El  $\text{NO}_2$  se colecta por difusión molecular a través de un tubo inerte con trietanolamina. El  $\text{NO}_2$  colectado se desorbe en laboratorio con sulfanilamida (reacción de diazotación) dando diazosulfanilamida que al reaccionar con el dicloridrato de N-1 naftil etilendiamina genera un colorante azoico cuya intensidad es proporcional a la concentración de nitrito presente, la que se determina por espectrofotometría visible.<sup>28</sup>

### *Reactivos*

- Acetona (99.5%).P.A. Merck.
- Acido orto fosfórico concentrado. P.A. Merck.
- N-1 naftilendiamina. P.A. Merck.
- Nitrito de sodio. P.A. Merck.
- Sulfanilamida (99%). P.A. Merck.
- Trietanolamina. P.A. Merck.

### *Preparación de soluciones*

*Preparación de solución de nitrito de sodio:* se pesará 1 g de sal de nitrito de sodio ( $\text{NaNO}_2$ ) y se secará en una estufa durante 24 horas a 120 °C. Se pesará en una balanza analítica 0.0375 g de la sal de  $\text{NaNO}_2$  seca, se disolverá con agua bidestilada y se aforará a 25 mL. Se conservará cerrado, refrigerado y protegido de la luz hasta la preparación de la solución stock.

*Preparación de stock de nitrito de sodio:* se diluirá 10 mL de la solución patrón en 250 mL de agua destilada (concentración de 40  $\mu\text{g NO}_2/\text{mL} = 40 \text{ ng NO}_2/\mu\text{g}$ ). Se guardará la solución en refrigeración y se la protegerá de la luz.

*Preparación del reactivo colorimétrico:* deberá ser preparado 24 horas antes de ser utilizado. Para su preparación será necesario contar con dos soluciones:

- Solución A: se pesará 2 g de sulfanilamida ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$ ), se disolverá en 5 mL de ácido ortofosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 85%, se diluirá hasta 100 mL con agua destilada en el matraz aforado, se calentará la solución y se retirará de la hornilla al comenzar la ebullición.
- Solución B: se pesará 0.070 g de NEDA (N-1 naftilendiamina) ( $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_2 \cdot 2\text{HCl}$ ), se disolverá en 50 mL de agua destilada en una fiola.

Una vez preparadas las dos soluciones, se enfriará la Solución A hasta temperatura ambiente. Se combinará las soluciones A y B (1:1). Se rotulará la solución con el nombre, fecha y hora de preparación; finalmente, se conservará refrigerada en un recipiente color ámbar.

*Calibración del método*

*Preparación de la gráfica de calibración:* se introducirá en los tubos de ensayo los volúmenes de la solución stock señalados en la **TABLA 6**.

**TABLA 6.** Volúmenes de solución stock para la calibración del método.

<b>Estándar</b>	<b>Volumen de solución stock añadido (µL)</b>
1	10
2	20
3	40
4	60
5	80

*Fuente: Elaboración propia.*

Se añadirá a cada tubo de ensayo 4 mL de reactivo de colorimétrico y se agitará para homogenizar la solución.

Se leerá en el espectrofotómetro visible y se registrará las absorbancias para cada uno de los estándares. Luego, trazará la gráfica de calibración.

La gráfica de calibración deberá ser preparada cada vez que se realice un ensayo para la determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno con tubos pasivos. La pendiente de la curva de calibración deberá estar en un rango entre 0.0095 y 0.110, y el intercepto de la gráfica deberá estar en un rango entre -0.015 y + 0.015.

### *Preparación de los tubos pasivos*

Se disolverá trietanolamina ( $C_6H_{15}NO_3$ ) en acetona ( $C_3H_6O$ ) en una relación 1:8, obteniéndose la solución de impregnación. Se sumergirá las rejillas de acero (de diámetro 1.10 cm) en la solución por el espacio de 15 minutos. Se colocará las rejillas sobre el papel absorbente y se dejará evaporar el solvente.

Una vez evaporado el solvente, se colocará tres rejillas en cada tubo pasivo con la ayuda de la pinza entre el tubo y la tapa de teflón del tubo. Se cerrará el dispositivo en sus dos extremos, luego será rotulado y almacenado a temperaturas de 6 a 7 °C hasta su exposición.<sup>28</sup> Para esta etapa, también, se llenará un Registro de Laboratorio (RL) (ver **ANEXO A**).

### *Análisis de las muestras*

Se dispondrá de un tubo de ensayo por tubo pasivo y se agregará 4 mL de reactivo colorimétrico a cada tubo de ensayo (los cuales estarán debidamente rotulados).

Se transferirá las rejillas del dispositivo al tubo de ensayo correspondiente, luego los tubos de ensayo serán agitados y posteriormente se dejarán reposar por 15 minutos.

Se leerá las absorbancias de cada una de las muestras de los tubos de ensayo incluido los de la gráfica de calibración.

Del gráfico de calibración se obtendrá los nanomoles de  $NO_2$  colectado por el muestreador y luego la concentración de dióxido de nitrógeno por metro cúbico de aire ( $\mu g/m^3$ ); se determinará según la **Ec. (8)**.

$$NO_2 \left( \frac{\mu g}{m^3} \right) = \frac{(\text{nanomoles})NO_2 * 46 * 1000}{S * t * 60} \quad (8)$$

*Donde:*

$S$  = cociente de captación (mL/min).

$t$  = tiempo de exposición (h).

El análisis de las muestras se realizará por triplicado, para luego realizar una evaluación de los parámetros de desempeño del método aplicado.<sup>29</sup>

### *Limpieza rejillas de acero*

Una vez concluido el análisis tanto los dispositivos y las rejillas deberán seguir un procedimiento específico de limpieza. La limpieza de los dispositivos se describirá de forma detallada en los siguientes párrafos.

Con respecto a la limpieza de la rejillas de acero, una vez concluido el análisis deberán ser enjuagadas con agua de grifo; luego, deberán ser lavadas con una solución de detergente por dos veces (cada vez por un periodo de 30 minutos utilizando el baño ultrasónico) y posteriormente serán enjuagadas con agua destiladas por dos veces (cada vez por un periodo de 30 minutos utilizando el baño ultrasónico).

Finalmente, se harán secar sobre papel absorbente para luego ser almacenadas no expuestas al medio ambiente y sin humedad.

### *Determinación de dióxido de azufre*

#### *Fundamento*

El dióxido de azufre de aire es absorbido en una solución de **tetracloromercurato de potasio (TCM)**. **Un complejo de diclorosulfitomercurato, el cual resiste a la oxidación por el oxígeno en el**

**aire, es formado.** El complejo se hace reaccionar con pararosanilina y formaldehído para formar el color intenso de **ácido pararosanilina metilsulfónico**. La absorbancia de la solución es medida por medio de un espectrofotómetro adecuado.<sup>30, 31</sup>

#### *Reactivos*

- Cloruro de mercurio. P.A. Merck.
- Cloruro de sodio. P.A. Merck.
- Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA). P.A. Merck.
- Ácido clorhídrico. P.A. Merck.
- Ácido fosfórico. P.A. Merck.
- Clorhidrato de pararosanilina. P.A. Merck.
- Formaldehido. P.A. Merck.
- Ácido sulfámico. P.A. Merck.
- Bisulfito de sodio. P.A. Merck.
- Yodo. P.A. Merck.
- Yoduro de potasio. P.A. Merck.
- Yodato de potasio. P.A. Merck.
- Tiosulfato de sodio pentahidratado. P.A. Merck.
- Carbonato de sodio. P.A. Merck.
- Carbonato de potasio. P.A. Merck.
- Metanol. P.A. Merck.

#### *Preparación de soluciones*

*Preparación de bisulfito de sodio, solución de 0.012 g/L:* se disolverá 0.30 g de bisulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) en 500 mL de agua ultrapura. La concentración de la masa real de dióxido de azufre presente en la solución se determinará previamente y para ello se utilizarán los reactivos mostrados en **ANEXO B**.

Inmediatamente después de la determinación de la concentración másica real de dióxido de azufre presente en la solución, se medirá 2 mL de esta solución y se llevará a un recipiente volumétrico con aforo en 100 mL. Se llenará hasta la marca con solución de tetracloromercurato de sodio (TCM) y luego se homogenizará como resultado se tendrá la solución sulfito – TCM). Esta solución será estable durante 30 días si se almacena aproximadamente a 5°C, o por un día, dependiendo de la temperatura ambiente a la que se almacena.<sup>15, 32,33,34</sup>

*Preparación de tetracloromercurato de sodio (TCM) al 0.04mol/L:* se disolverá en agua destilada 10.90 g de cloruro de mercurio (II) ( $\text{HgCl}_2$ ), 4.70 g de cloruro de sodio (NaCl) y 0.07 g de sal disódica dihidratada del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), en un recipiente volumétrico con aforo de 1000 mL. Se llenará hasta la marca con agua y se mezclará bien.

La solución se almacenará en un recipiente con un tapón bien ajustado y es estable durante varios meses, pero se deberá desechar si se forma precipitado. El pH deberá estar cercano a  $4 \pm 1$ .

*Preparación de clorhidrato de pararrosanilina (PRA), solución 0.16 g/L:*

- (a) Se transferirán 86 mL de ácido clorhídrico (HCl) de aproximadamente 38% (m/m) ( $\rho = 1.19 \text{ g/mL}$ ) en un recipiente volumétrico con aforo en 1000 mL. Se llenará con agua destilada hasta la marca y se mezclará bien.
- (b) Se transferirá 205 mL de ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) de aproximadamente 85% (m/m) ( $\rho = 1.69 \text{ g/mL}$ ) en un recipiente volumétrico con aforo en 1000 mL. Se llenará con agua destilada hasta la marca y se mezclará bien.
- (c) Se disolverá 0.2 g de clorhidrato de pararrosanilina ( $\text{C}_{19}\text{H}_{17}\text{N}_3\text{HCl}$ ) en 100 mL de la solución de ácido clorhídrico preparada en el primer punto (a).

- (d) Se medirá con una pipeta 20 mL de la solución preparada en (c) y se llevará a un recipiente volumétrico con aforo en 250 mL. Se agregará 25 mL de la solución de ácido fosfórico preparada en (b). Se mezclará bien y se llenará con agua hasta la marca. La solución será estable durante varios meses, si se almacena protegida de la luz.

*Preparación de formaldehído, solución aproximadamente de 2g/L:* se medirá con una pipeta 5 mL de una solución de formaldehído (CH<sub>2</sub>O) de 36 a 38% (m/m), y se llevan a un recipiente volumétrico con una marca de 1000 mL. Se llenará con agua destilada hasta la marca y se mezclará bien. Esta solución se preparará el mismo día que se vaya a utilizar.

*Preparación de ácido sulfámico, solución de 6g/L:* se disolverá 0.60 g de ácido sulfámico (NH<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>H) en 100 mL de agua. Esta solución será estable durante algunos días, si se protege del aire.

*Calibración del método*<sup>15, 32,33,34</sup>

*Preparación de la gráfica de calibración:* la resolución de calibración para concentración de dióxido de azufre versus absorbancia se obtendrá considerando los volúmenes mostrados en la **TABLA 7** (dichos volúmenes serán llevados a fioles de 25 mL debidamente rotuladas).

**TABLA 7.** Volúmenes de soluciones para la calibración del método.

<b>Estándar</b>	<b>Solución sulfito – TCM (mL)</b>	<b>Volumen de TCM (mL)</b>
1	0.25	9.75
2	0.50	9.50
3	1.00	9.00
4	1.50	8.50
5	2.00	8.00

*Fuente: Elaboración propia.*

Luego de tener preparado lo mostrado en la **TABLA 7**, se agregará 1 mL de ácido sulfámico al 0.6% (a todas las fiolas) dejando así reaccionar por un por 37 minutos; después, se agregará 2 mL de formaldehído al 0.2%. Posteriormente, se agregará 5 mL de pararrosanilina y se enrazará con agua destilada a volumen final (de 25 mL).

Las soluciones homogenizadas, se dejarán en reposo por no menos de 30 minutos ni más de 60; para luego ser enrazadas a 25 mL con agua destilada. De de la misma forma, se preparará un blanco.

Posteriormente, se leerá en el espectrofotómetro visible y se registrará las absorbancias para cada uno de los estándares. Luego, se trazará la gráfica de calibración. Se realizará lecturas por triplicado para su respectivo análisis estadístico.<sup>39</sup>

Se considerará como especificaciones importantes, para la realización de la gráfica de calibración, lo siguiente:

- La absorbancia del reactivo blanco no deberá exceder 0.170 unidades de absorbancia.
- El valor del intercepto deberá ser igual o menor de 0.170 unidades de absorbancia.
- El coeficiente de correlación deberá ser mayor de 0.998.

Si no se cumplen las especificaciones mencionadas puede ser resultado de una impureza o de una estandarización inadecuada de la solución de sulfito – TCM.

### *Preparación de los tubos pasivos*

Para definir la solución de impregnación a utilizar se realizará ensayos previos utilizando carbonato de potasio al 4% <sup>20</sup> y carbonato de sodio al  $1 \times 10^{-2}$  mol/L.<sup>5,37</sup>

Para ambos casos, relacionados a ensayos con dos distintas soluciones de impregnación, previamente se seguirá un procedimiento de lavado de los filtros.

Se utilizará filtros Grado 390 (*Sartorius Stedim Biotech*) de diámetro 1.10 cm, los cuales se lavarán de la siguiente manera: <sup>31, 38,39</sup>

- Primero, dos veces con agua destilada.
- Luego, tres veces con agua destilada; por un periodo de 15 minutos (usar baño ultrasónico).
- Posteriormente, lavarlos con metanol por 15 minutos haciendo uso, también, de baño ultrasónico.
- Finalmente, secarlos al vacío.

Una vez secos los discos de papel filtro, se proseguirá la impregnación de la siguiente manera:

- Con una solución de carbonato de sodio a  $1 \times 10^{-2}$  mol/L, por 2 horas. <sup>5,37</sup>
- Con una solución de carbonato de potasio al 4%, por 12 horas. <sup>38</sup>

Luego de cumplidos los periodos de impregnación, se proseguirá nuevamente a secar los discos. Finalmente se hará el armado respectivo de los dispositivos, para ello se tendrá un grupo de tres dispositivos cada uno con dos papeles filtros de celulosa en su interior y otro grupo de, también, tres dispositivos con

únicamente un solo disco de papel filtro; teniendo así para la prueba respectiva de exposición cuatro grupos de tres dispositivos cada uno ( ver **TABLA 8**).

**TABLA 8.** Datos relacionados al ensayo de impregnación.

Grupo	N° de discos de papel filtro impregnados	Solución de impregnación
1	1	Carbonato de sodio a $1 \times 10^{-2}$ mol/L
2	2	
3	1	Carbonato de potasio al 4%
4	2	

*Fuente: Elaboración propia.*

Una vez preparados los dispositivos, serán expuestos a un periodo específico. Los tubos se almacenaran en bolsas de polietileno herméticas hasta el momento de su instalación.<sup>40</sup>

#### *Análisis de las muestras*

Se destaparan los dispositivos, luego con una pinza se transferirá los discos de papel filtro a un tubo de ensayo de 5 mL (previamente rotulados). Pasarán a una etapa de lavado por baño ultrasónico por 1 minuto (se adicionará previamente 2 mL de agua destilada). Después, las soluciones se trasvasarán a fioles de 25 mL las cuales también estarán previamente rotuladas.

La elusión del SO<sub>2</sub> adsorbido en el filtro del dispositivo se continuará con la adición (en las fioles de 25 mL) de las soluciones que se mencionarán a continuación: con 5 mL de solución de tetracloromercurato (se dejará reaccionar por 20 minutos para permitir la descomposición del ozono), luego, se agregará 1 mL de ácido sulfámico al 0.6% y se dejará reposar por 10 minutos para destruir óxidos de nitrógeno; posteriormente, se agregará 2 mL de solución de formaldehído al 2% y se adicionará 5 mL de solución de pararrosanilina para luego dejar reaccionar por un periodo de 30 minutos. Finalmente, se completará el volumen de las fioles con agua destilada.<sup>35</sup>

El procedimiento mencionado en el anterior párrafo será utilizado, también, para la preparación del blanco.

Se medirá la absorción en un espectrofotómetro, realizando lecturas por triplicado de cada muestra.

Del gráfico de calibración se obtendrá los  $\mu\text{g/mL}$  de  $\text{SO}_2$  colectado por el muestreador y luego la concentración de dióxido de azufre por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g/m}^3$ ); según la **Ec. ( 9)**.

$$SO_2 \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\mu\text{g/mL de } SO_2 * 10^6 * 25}{S * t * 60} \quad (9)$$

*Donde:*

$S$  = cociente de captación (mL/min).

$t$  = tiempo de exposición (h).

### ***Exposición, recolección y preservación de dispositivos***

Para la exposición, se retirarán los dispositivos preparados del refrigerador. Se dispondrán en un recipiente cerrado para su transporte.<sup>16</sup>

Se expondrá tres dispositivos para la determinación de dióxido de nitrógeno, por cada zona seleccionada.

Se recogerá los dispositivos luego de cumplido el periodo de exposición, se taparán y se dispondrán en el recipiente en el que serán transportados<sup>28</sup>; para dicha etapa se deberá llenar un Registro de Campo (RC) en cual se muestra en **ANEXO C y D** (dependiendo del contaminante que se evaluará). Luego, se almacenará los tubos recolectados en el refrigerador para después ser analizados en laboratorio.

### ***Limpieza de dispositivos de difusión pasiva tipo tubo***

Los dispositivos, luego del respectivo análisis, deberán ser lavados y enjuagados de acuerdo a la siguiente instructiva (evitando juntar los dispositivos usados para la determinación de dióxido de nitrógeno de los utilizados para dióxido de azufre):

- Se enjuagarán con agua de grifo, inmediatamente después de que se han usado en el análisis.
- Se removerán las etiquetas y los grabados utilizados.
- Se lavarán con una escobilla de tamaño y forma adecuada, fregando por dentro con una solución de detergente.
- Se enjuagarán con abundante agua de grifo para remover los residuos de detergente.
- Se enjuagarán con pequeñas porciones de agua destilada por tres veces.
- Se dejará escurrir el agua.

Una vez limpios los dispositivos, deberán ser almacenados evitando ser expuestos al ambiente.<sup>28</sup>

### **1.2. Instrumentos**

En general, los instrumentos a utilizar serán el espectrofotómetro visible Agilent Cary 60, estación potenciométrica (Titrando 808) de Metrohm, balanza analítica Ohaus Pioneer serie Pioneer™ de 4 decimales, estufa modelo Memmert, baño ultrasónico Bransonic 2510, hotplate cerámico con agitador magnético marca Thermo Scientific y desecador al vacío. El agua de calidad ultrapura (18.2 MΩ) será obtenida con un equipo EASYpure II.

### *Materiales*

- Rejillas de acero inoxidable.
- Papel filtro Grado 390 (*Sartorius Stedim Biotech*)
- Tubos de ensayo.
- Bureta de 25 mL.
- Fiolas de 25, 250 y 500 mL.
- Beakers de 50, 100 y 1000 mL.
- Pipetas volumétricas.
- Micropipeta digital.
- Papel absorbente.
- Espátulas.
- Pinza metálica.
- Gradillas.

### **1.3. Materiales de verificación**

Para el caso del monitoreo se considerará el empleo de tres blancos de campo (BC) – los cuales serán expuestos en el contenedor sin retirar la tapa inferior-, para cada determinación de gas contaminante, los cuales deberán permanecer refrigerados antes de su análisis. Dichos tubos recibirán el mismo tratamiento de análisis que los demás dispositivos.

Por último, se determinará la concentración de dióxido de nitrógeno empleando dispositivos ya distribuidos; los cuales servirán como medios de comparación. Se hará un análisis estadístico para determinar diferencia significativa, aplicando el contraste **F** para la comparación de desviaciones estándar y finalmente se aplicará el contraste **t** (t-student).<sup>41</sup>

***Contraste de significación: comparación de dos medias experimentales***

Los resultados de un método analítico nuevo se pueden contrastar mediante comparación con los obtenidos utilizando un segundo método. En este caso tenemos dos medias muestrales  $\bar{x}_1$  y  $\bar{x}_2$ . Tomando como hipótesis nula que los dos métodos proporcionen el mismo resultado, es decir  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  y como hipótesis alternativa ( $H_1$ ) que son diferentes, es decir  $\mu_1 \neq \mu_2$ . Si  $|t|$  (es decir, el valor calculado de  $t$  sin tener en cuenta el signo) es mayor que un cierto valor crítico, entonces se rechaza la hipótesis nula. El valor de ***t crítico*** se obtiene por tablas, de acuerdo a los grados de libertad y al nivel de confianza que se desee.

Otra aplicación de este contraste se presenta cuando se debe decidir si un cambio en las condiciones de un experimento afecta al resultado.<sup>41</sup>

Para ello, primero se determinará si los datos a comparar poseen varianzas homogéneas o heterogéneas; por ello se realizará la determinación del ***Test F***. El contraste  $F$  considera la razón de las dos varianzas muestrales, es decir, la razón de los cuadrados de las desviaciones estándar. Para su determinación (F práctico o calculado), se aplicará la **Ec. (10)** (donde 1 y 2 se dispusieron en la ecuación de modo que  $F$  diera  $\geq 1$ ).

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (10)$$

Las varianzas se considerarán homogéneas cuando el valor del  $F$  calculado sea menor al valor crítico (valor teórico dado por tablas), por el contrario, se considerarán varianzas heterogéneas cuando el valor de  $F$  calculado sea mayor al valor dado por tablas. Para ambos casos se trabajará con un nivel de confianza del 95%.<sup>41</sup>

Tanto los valores de F crítico y práctico, como valores de t crítico y práctico se obtendrán haciendo uso del Programa Microsoft Excel. Luego de determinar el tipo de varianza, se realizará un análisis la *prueba t* considerando la probabilidad (dependiente de la hipótesis alternativa establecida).

## 2. CAMPO DE VERIFICACIÓN

### 2.1. Ubicación espacial

El monitoreo de pasivo, para la determinación de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), será en la ciudad de Arequipa. Los análisis se llevarán a cabo en el Laboratorio H-202 de la Universidad Católica de Santa María.

### 2.2. Ubicación temporal











El periodo a monitorear será de 25 a 30 días para cada mes, durante el año 2011 y 2012.

### 2.3. Unidades de estudio

#### *Zonas de monitoreo*

Los puntos a monitorear, para la determinación de dióxido de nitrógeno, serán las zonas que arrojaron concentraciones iguales o mayores a 20 µg/m<sup>3</sup> en el reporte del mes de Febrero (del 2011) en el monitoreo de dióxido de nitrógeno por tubos pasivos presentado por la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental Arequipa y se incluirá también como zona de monitoreo a la Universidad Católica de Santa María. Entonces, todas las zonas que se evaluarán se listan en la **TABLA 9**).

**TABLA 9.** Ubicación de puntos de muestreo.<sup>42</sup> (Revisar **ANEXO E**, donde se muestra en plano la ubicación de los puntos señalados trazados con un color determinado).

<b>Nº Ubicación</b>	<b>Zonas de Monitoreo</b>
1 	Puesto de Salud – Edificadores Misti.
2 	Ovalo San Lázaro – Cercado.
3 	Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial.
4 	Centro de Salud – Miguel Grau Zona B.
5 	Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R.
6 	Pueblo Joven – Independencia.
7 	Vía de la Salud S/N (Estación PRAL).
8 	Puesto de Salud Manuel Prado.
9 	U.C.S.M.
10 	Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato.

*Fuente: Elaboración propia.*

Para el caso de la determinación de dióxido de azufre, se considerarán otras zonas de monitoreo. El número de zonas dependerá de los resultados obtenidos en los ensayos de impregnación.

#### ***Instalación del sitio de muestreo***

Se suspenderá los dispositivos pasivos en contenedores para su protección (tres tubos pasivos por zona de cada gas a monitorear). Las cajas (contenedor de muestreo) estarán suspendidas a una altura de 2 a 2 metros y medio en los sitios de medición.<sup>43</sup>

La instalación de los dispositivos construidos, para el caso de la determinación de dióxido de nitrógeno, se dará gracias al apoyo de la Gerencia Regional de Salud de Arequipa. Dicho organismo se encargará de la instalación de los dispositivos diseñados junto con los dispositivos adquiridos por ellos mismos

(ello únicamente para el caso de la determinación de dióxido de nitrógeno). Para el caso de los dispositivos para la determinación de dióxido de azufre, su instalación será en zonas accesibles, sin la presencia del contenedor y serán puestos personalmente.

### 3. ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la validación de la metodología espectrofotométrica, se hallará los criterios fundamentales de validación<sup>44</sup>, como:

- *Evaluación estadística de la linealidad*

El estudio de la linealidad no solo implica una representación gráfica sino que es necesario realizar una comprobación estadística. Para la evaluación estadística de la linealidad se considerará la **ecuación de la recta** y el **coeficiente de determinación**.

*Ecuación de la recta. Pendiente y ordenada en el origen:* en la recta de regresión  $y = b \cdot x + a$ ,  $x$  es la concentración,  $y$  la respuesta,  $b$  el valor de la pendiente y,  $a$  el término independiente.

La pendiente  $b$  se encuentra relacionada con la sensibilidad del método de forma que a mayor pendiente mayor sensibilidad (respuesta del método frente a los cambios de la concentración del analito). El término independiente  $a$ , u ordenada en el origen, es la intersección de la recta con el eje de ordenadas y es indicativo del error sistemático, no difiriendo estadísticamente de cero en caso de no existir sesgo.

*Coefficiente de correlación ( $R$ ) y coeficiente de determinación ( $R^2$ ):* el coeficiente de correlación nos indica el grado de relación entre la variable  $x$  (concentración), y la variable  $y$  (respuesta). Su valor máximo es 1. Si  $R$  es

cercano a la unidad significa que existe correlación con una probabilidad elevada. Un valor nulo indica ausencia de relación lineal entre las variables.

El valor recomendable para el coeficiente de correlación es  $\geq 0.999$ , aunque en el caso de impurezas se admite  $\geq 0.990$ .

La información obtenida mediante el cálculo de  $R$  es limitada y no justifica por sí sola la linealidad, siendo  $R^2$  coeficiente de determinación el que aporta una mayor significación estadística ya que expresa la proporción de la variación total de  $y$  explicada por el modelo.<sup>45</sup>

- ***Precisión***

La precisión expresa el grado de concentración (grado de dispersión) entre una serie de medidas de tomas múltiples a partir de una misma muestra homogénea en las condiciones prescritas.

El objetivo del estudio de la precisión es conocer la variabilidad o el más - menos del método de ensayo. Esta variabilidad es debida a errores aleatorios inherentes a todo método de ensayo. Como consecuencia de la existencia de estos errores, los análisis efectuados sobre muestras idénticas, en las mismas circunstancias, no conducen generalmente a resultados idénticos. Los factores susceptibles de influir sobre los resultados de un ensayo no pueden ser siempre controlados (analista, equipo instrumental, reactivos, tiempo) de aquí la importancia del estudio de la precisión.

La precisión engloba diferentes estudios:

*Repetibilidad del método:* el ensayo de repetibilidad del método se efectúa sobre una serie de alícuotas de una muestra homogénea que se analiza

independientemente desde el principio (preparación de muestra) hasta el final (lectura de resultados) por el mismo instrumento y el mismo analista.

La estimación de la repetibilidad del método se realizará con el cálculo del coeficiente de variación de las respuestas obtenidas (**Ec. (11)**) y con los intervalos de confianza a cada nivel de concentración estudiado (**Ec. (14)**).

$$CV (\%) = \frac{s}{\bar{x}} \quad (11)$$

*Donde:*

$s$  = Desviación estándar (**Ec. (13)**).

$\bar{x}$  = Media aritmética de los resultados (**Ec. (12)**)

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (12)$$

*Donde:*

$\sum x$  = sumatoria del conjunto de datos.

$n$  = número de datos.

$$S = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}} \quad (13)$$

*Donde:*

$\sum x$  = sumatoria del conjunto de datos.

$n$  = número de datos.

$$x \pm \frac{t * s}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

*Donde:*

$\bar{x}$  = media de una serie de resultados obtenidos en un mismo nivel de concentración.

$t$  = valor de la  $t$  de Student de tablas para  $n-1$  grados de libertad y  $\alpha = 0.05$ .

$n$  = número de análisis.

$s$  = desviación estándar.

*Precisión intermedia:* el objetivo del estudio de la precisión intermedia es determinar la variabilidad del método efectuando una serie de análisis sobre la misma muestra, en un mismo laboratorio pero en condiciones operativas diferentes.

La estimación de la precisión intermedia se realizará con el cálculo del coeficiente de variación global de las respuestas obtenidas, es decir, considerando cada resultado independientemente.

Generalmente se aceptan valores de coeficiente de variación de la precisión intermedia inferiores al doble del coeficiente de variación de la repetibilidad del método.

*Reproducibilidad:* estudia la variabilidad de los resultados inter-laboratorio. El objetivo de este estudio es verificar que el método de análisis proporciona los mismos resultados en diferentes laboratorios.

Este estudio es necesario si se pretende realizar el método en diferentes laboratorios o si se quiere estandarizar un procedimiento analítico.<sup>29</sup> Por ello, la reproducibilidad (de ambos métodos: tanto para la determinación de dióxido de nitrógeno como de dióxido de azufre) se llevará a cabo en el Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María.

- **Sensibilidad: límite de detección y de cuantificación**

La sensibilidad de un método analítico corresponde a la mínima cantidad de analito que puede producir un resultado significativo.

Los parámetros a definir al evaluar la sensibilidad de un método son los límites de detección y de cuantificación.

- *Límite de cuantificación (LC)*: Es la mínima cantidad de analito presente en la muestra que se puede cuantificar.
- *Límite de detección (LD)*: Es la mínima cantidad de analito en la muestra que se puede detectar.

Los límites de detección y cuantificación se estimaron a partir de la curva de regresión, para ello se realizaron las siguientes determinaciones:

- Determinación de la pendiente de la curva de calibración (concentración vs respuesta): ***b***
- Determinación de la ecuación de la curva de calibración, extrapolando la respuesta a concentración cero obteniéndose un estimado de la respuesta del blanco : ***Y<sub>bl</sub>***
- Determinación de la desviación estándar correspondiente a cada concentración de la curva de calibración, se calculó la recta correspondiente a la concentración vs la desviación estándar (*s*) y se extrapoló la desviación estándar a concentración cero, obteniéndose la desviación estándar del blanco: ***s<sub>bl</sub>***

Se calculará el límite de detección (3 desviaciones estándar del blanco) y el límite de cuantificación (10 desviaciones estándar del blanco) para las ***n*** mediciones realizadas (las cuales fueron por triplicado), aplicado las **Ec. (15) y (16)**.<sup>44,45</sup>

$$LD = \frac{Y_{bl} + 3S_{bl}}{b \cdot \sqrt{n}} \quad (15)$$

$$LC = \frac{Y_{bl} + 10S_{bl}}{b \cdot \sqrt{n}} \quad (16)$$

Se considerará como **parámetro de control de calidad**, en el caso de la determinación de NO<sub>2</sub>, un **estándar de verificación**. La curva de calibración se verificará con un estándar de 30 µL de solución stock por 4 mL de reactivo colorimétrico con cada lote de muestras. El valor obtenido no deberá diferir ±10% del valor del estándar. En caso contrario se preparará una nueva curva de calibración.



## V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Gesta Zonal de Aire. Plan a Limpiar El Aire. Arequipa. Disponible en: [http://www.ucsm.edu.pe/SIAR/siar/media/Plan\\_ALA\\_Arequipa.pdf](http://www.ucsm.edu.pe/SIAR/siar/media/Plan_ALA_Arequipa.pdf)
- (2) Lombardi, G. Calidad del aire en el Perú. Disponible en: <http://www.klepel.ch/pdf/Presentacion%201309.pdf>
- (3) Parada, J. Monitoreo de la Calidad del Aire. Disponible en: <http://www.citcst.gob.pe/PDF%20para%20web/1er%20Curso%20CEPAL/D%C3%ADa%2010%20-%20Lunes%2016/1%20Presentaci%C3%B3n%20Monitoreo%20%28I%29.pdf>
- (4) Asociación Civil Labor Arequipa. Estudio epidemiológico por exposición a contaminantes atmosféricos de la población en riesgo de Arequipa - 2004. Proyecto Gestión de la Salud Ambiental y Descontaminación Atmosférica en la ciudad de Arequipa, ámbito de Arequipa Metropolitana – MUSA.
- (5) Campos, V.; Cruz, L.; Godoi, R.; Godoi, F.; Tavares, T. Development and validation of passive samplers for atmospheric of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>S in tropical area. *Microchemical Journal* 96(2010) 132-138.
- (6) Stranger et al. Seguimiento de NO<sub>2</sub> en el aire ambiental, con muestreadores pasivos antes y después de un evento de reconstrucción de carreteras. *Microchemical Journal* 90 (2008) 93–98.
- (7) García, P. Apuntes de química del medio ambiente.
- (8) Glasius, M.; Carlsen, M.; Hansen, T.; Lohse, C. Measurements of nitrogen dioxide on Funen using diffusion tubes. *Atmospheric Environment* 33 (1999) 1177-1185.
- (9) Hamilton, R. y Heal, M. Evaluación de un método para la preparación de tubos de difusión pasiva para mediciones de dióxido de nitrógeno en el ambiente. *J. Environ. Monit.*, 2004 ,6 ,12 – 17.
- (10) Heal, M. y Kirby, C; CAPE, J. N. Sesgos sistemáticos en la medición de dióxido de nitrógeno urbano utilizando muestreadores de difusión pasiva. *Environ. Monitor. Assess.* 62, 39-54.
- (11) Heal, M. y O'Donoghue, M. Aplicación de tubos de difusión pasiva para la medición a corto plazo en el interior y exposición personal de NO<sub>2</sub>. *Environment International*, Vol. 25, No. 1, pp. 3-8, 1999.

- (12) Liard, R.; Zureik, M.; Le Moullec, Y. Use of personal passive samplers for measurement of NO<sub>2</sub>, NO, and O<sub>3</sub>. Levels in Panel Studies. *Environmental Research Section A* 81,339-348, 1999.
- (13) Chao, C. and Law, A. A study of personal exposure to nitrogen dioxide using passive samplers. *Building and Environment* 35 (2000) 545-553
- (14) Zou et al. On an empirical relationship between SO<sub>2</sub> concentration and distance from a highway using passive samplers: A case study in Shanghai, China. *Science of the Total Environment* 377 (2007) 434-438.
- (15) Manrique, A. y Ossa, D. Validación de los métodos espectrofotométricos para la determinación de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> en muestras de aire. Universidad Tecnológica de Pereira, 2010.
- (16) Loja, C. y Ordoñez, T. Monitoreo y Simulación de la Calidad de Aire en la Ciudad de Cuenca.  
Disponible en:  
[http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/697/3/Capitulo\\_1\\_Monitoreo\\_y\\_simulacion\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_aire\\_en\\_la\\_Ciudad\\_de\\_Cuenca.pdf](http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/697/3/Capitulo_1_Monitoreo_y_simulacion_de_la_calidad_de_aire_en_la_Ciudad_de_Cuenca.pdf)
- (17) Ouyang, G. y Pawliszyn, J. Configuración y métodos de calibración para metodologías de muestreo pasivo. *Journal of Chromatography A*, 1168 (2007) 226–235.
- (18) Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos de ozono troposférico y dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea. Capítulo 5: Descripción del Método de Medida. Disponible en:  
[http://www.tesisexarxa.net/TESIS\\_UJI/AVAILABLE/TDX-0415105-125337//capitulo4.pdf](http://www.tesisexarxa.net/TESIS_UJI/AVAILABLE/TDX-0415105-125337//capitulo4.pdf)
- (19) Perkauskas, D. and Mikelskiene, A. Evaluation of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> concentration levels in Vilnius (Lithuania) using passive diffusion samplers. *Environmental Pollution* 102, S1 (1998) 249-252.
- (20) Cox, R. The use of passive sampling to monitor forest exposure to O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>: a review and some case studies. *Environmental Pollution* 126 (2003) 301-311.
- (21) Vardoulakis, S.; Lumbreras, J.; Solazzo, E. Evaluación comparativa de tubos de difusión pasiva de óxidos de nitrógeno y ozono para estudios de exposición. *Atmospheric Environment* 43 (2009) 2509–2517.
- (22) Gorecki, T. y Namiesnik, J. Muestreo Pasivo. *trends in analytical chemistry*, vol. 21, no. 4, 2002.

- (23) Shalaby, E.; Ghatass, Z.; El-Raey, M. A simple Technique for Measurements of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> in Alexandria and Delta Region, Egypt. *American-Eurasian Journal of Scientific Research* 2(2); 106-111,2007.
- (24) Gardiner, K. and Harrington, J. *Occupational Hygiene*. Third Edition. 2005 by Blackwell Publishing Ltd.
- (25) Zapata, C.; Quijano, R.; Molina, E.; Rubiano, C.; Londoño, G. Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire en el Valle de aburra con medidores pasivos. *Gestión y Ambiente*, vol. 11, núm. 1, mayo, 2008, pp. 67-84.
- (26) Ministerio de medio ambiente y recursos naturales. CONTRATO MARN-BID 1209-OC-ES No.17/2003. Gran Salvador, 2004.
- (27) Brown, R. General principles of diffusive sampling. *Proceedings of International Conference Measuring Air Pollutants by Diffusive Sampling*, held in Montpellier, France, September 2001. Joint Research Centre, European Commission, EUR 20242 EN, 21-30.
- (28) Ministerio de Salud. Dirección Regional de Salud de Cusco. Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental. Procedimiento normalizado de operación (PNO) para la determinación de Dióxido de Nitrógeno por el método de tubos pasivos.
- (29) La idoneidad para el uso de métodos de análisis. Una guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados. Eurachem Guía, 1998; Guía Para la Validación de Métodos de Ensayo. OAA.DC-LE-05.
- (30) Informe de la Encuesta Nacional de Ensayo sobre las normas de calidad del aire ambiental. Ministerio de Medio Ambiente y la notificación de los bosques (GOI).  
Disponible en: [http://mpcb.gov.in/images/pdf/Report\\_NAAQS.pdf](http://mpcb.gov.in/images/pdf/Report_NAAQS.pdf)
- (31) Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología. Universidad de Salamanca. Curso 2009-2010.  
Disponible en: <http://campus.usal.es/~qanalitica/Memoria0910.pdf>
- (32) Restrepo, M. Procedimiento para la determinación de la concentración másica de Dióxido de Azufre. Método de tetracloruro mercurato (TCM) pararrosanilina, 2007.
- (33) Central Laboratory Test Methods. Determination of suspended particulate matter in the atmosphere (high volume method), 2001.
- (34) Ministry of environment and forest (GOI) notification dtd. Report of Test Survey on National Ambient Air Quality Standards, 2009.
- (35) MINISTERIO DE SALUD - RESOLUCION 19622 DEL 31 DE DICIEMBRE DE 1985. Bogotá.

- (36) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-038-ECOL-1993
- (37) Cruz et al. A field evaluation of a SO<sub>2</sub> passive sampler in tropical industrial and urban air. *Atmospheric Environment* 38 (2004) 6425–6429.
- (38) Dirección de Investigación y Desarrollo. Universidad de Valparaíso. Proyectos de Investigación 2007. Disponible en:  
[http://www.dgf.uchile.cl/VOCALS\\_PAPOSO/docs/Cordova\\_proyecto%20DIPUV.pdf](http://www.dgf.uchile.cl/VOCALS_PAPOSO/docs/Cordova_proyecto%20DIPUV.pdf)
- (39) Comisión Nacional del Medio Ambiente. Monitoreo de contaminantes gaseosos en la Comuna de Talcahuano III. Universidad de Concepción, 2002.
- (40) Laboratorio para el desarrollo de análisis. Disponible en: [www.passam.ch](http://www.passam.ch)
- (41) Miller, J. y Miller, J. Estadística y Quimiometría para Química Analítica. PEARSON EDUCACIÓN. S.A. Madrid. 2002. Traducido por Carlos Maté Jiménez 4ª Edición.
- (42) Programa Aire Limpio para la Ciudad de Arequipa. Disponible en:  
<http://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/aire/TUBPAS/FEB2010TP.pdf>
- (43) Zacarías, E. Aspectos formales de la Química analítica y aplicaciones cotidianas. Laboratorio Inquimel, Santiago-Chile.
- (44) Asociación Española de Farmacéuticos de la Industria “Validación de Métodos Analíticos”, 2001.
- (45) Quattrocchi et al. Introducción a la HPLC. Aplicación y Práctica, 1992.

Fecha: 18 de Julio del 2011.

Firma:

## VI. ANEXOS

## ANEXO A

**RL: FORMATO DE PREPARACIÓN DE DISPOSITIVOS DE DIFUSIÓN PASIVA TIPO  
TUBO**

PARA DETERMINACIÓN DE:

NO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>	
-----------------	--	-----------------	--

Número de lote (NN)	Mes - Año	Fecha de producción	Número de tubos producidos	Observaciones
01				
02				
03				
04				
05				
06				

---

ANALISTA

## ANEXO B

### PREPARACIÓN DE REACTIVOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN MÁXICA DEL DIÓXIDO DE AZUFRE PRESENTE EN LA SOLUCIÓN DE BISULFITO DE SODIO

#### *Preparación de reactivos*

*Solución volumétrica de partida, tiosulfato de sodio ( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ) a 0.01 N:* se pesará 2.5 g de tiosulfato de sodio pentahidratado en 1 L de agua ultrapura y se agregará 0.01 g de carbonato de sodio a la solución.

*Solución de yodato de potasio ( $KIO_3$ ) a 3g/L:* se secarán algunos gramos de yodato de potasio durante la noche, a 180°C. Se pesarán 1.50 g y se enrazará a 500 mL (mezclando y disolviendo).

*Solución de partida de yodo a 0.05 mol/L:* se pesará 12.27 g de yodo ( $I_2$ ) en un vaso de precipitado de 250 mL, se agregará 40 g de yoduro de potasio (KI) y 25 mL de agua destilada. Se agitará hasta disolución total y se transferirá la solución cuantitativamente a un recipiente volumétrico con una marca de 1 L. Se enrazará hasta la marca.

*Solución de yodo a 0.005 mol/L:* se disolverá 50 mL de solución de partida de yodo a 500 mL de agua destilada.

## ANEXO C

**RC: FORMATO DE EXPOSICIÓN DE DISPOSITIVOS DE DIFUSIÓN PASIVA TIPO  
TUBO**

**PARA DETERMINACIÓN DE DIOXIDO DE NITROGENO (NO<sub>2</sub>)**

MES

AÑO

N°	N° DE TUBOS	ZONA DE MONITOREO	INSTALACION		RECOJO		Observaciones
			FECHA	HORA	FECHA	HORA	
1	1-2-3.	Puesto de Salud Edificaciones Misti					
2	4-5-6.	Ovalo San Lázaro Cercado					
3	7-8-9.	Av. Miguel Forga Senati Parque Industrial					
4	10-11-12.	Centro de Salud Miguel Grau Zona B					
5	13-14-15.	Puesto de Salud 13 de Enero J.L.B. y R.					
6	16-17-18.	Pueblo Joven Independencia					
7	19-20-21.	Vía de la Salud S/N (Estación Pral)					
8	22-23-24.	Puesto de Salud Manuel Prado					
9	25-26-27.	U.C.S.M					
10	28-29-30.	Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato					BC

\_\_\_\_\_  
OPERADOR DE CAMPO

## ANEXO D

**RC: FORMATO DE EXPOSICIÓN DE DISPOSITIVOS DE DIFUSIÓN PASIVA TIPO  
TUBO**

**PARA DETERMINACIÓN DE DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)**

MES

AÑO

N°	N° DE TUBOS	ZONA DE MONITOREO	Fecha		Observaciones
			Instalación	Recojo	
1	1-2-3.				
2	4-5-6.				
3	7-8-9.				
4	10-11-12.				
5	13-14-15.				
6	16-17-18.				

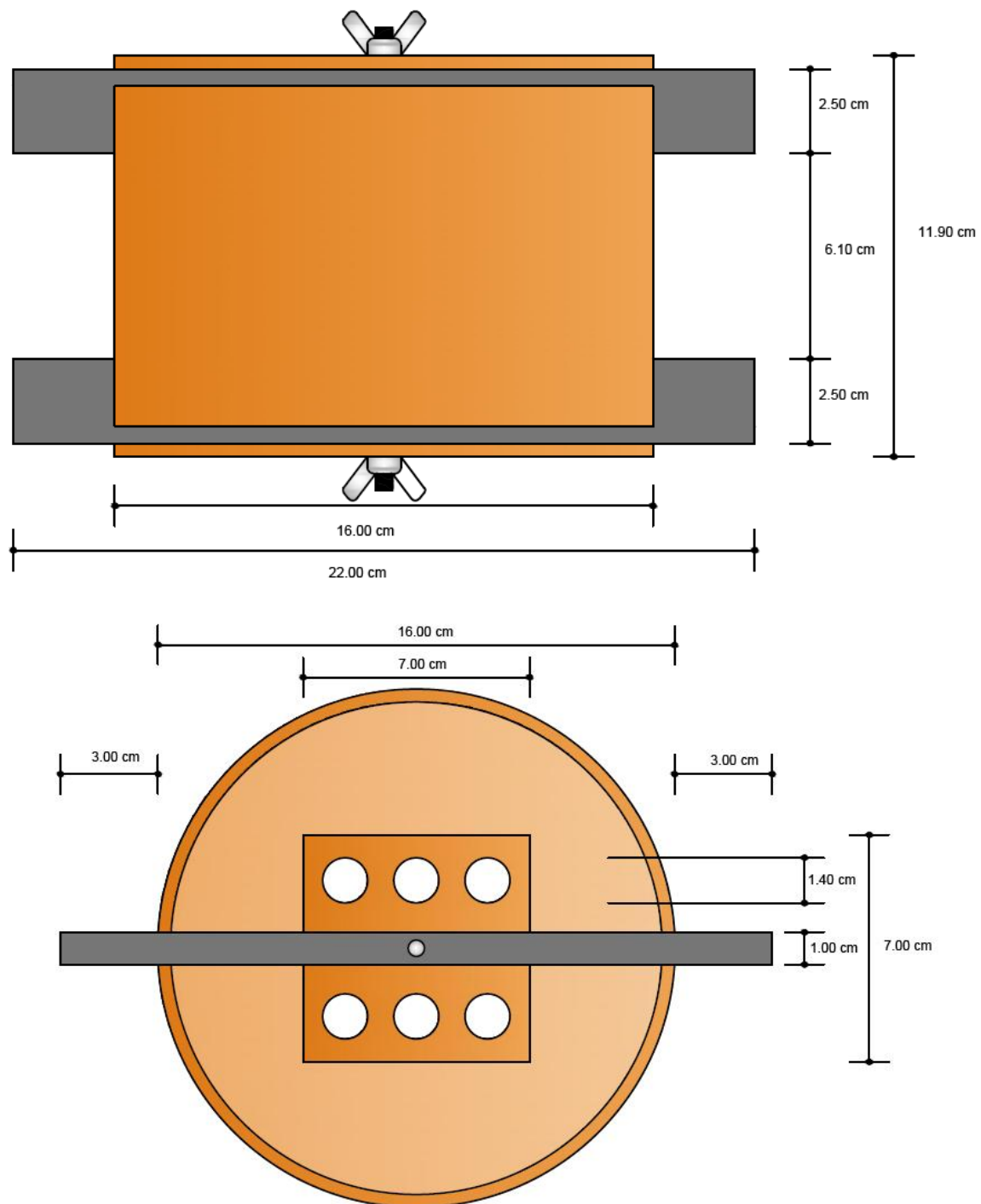
---

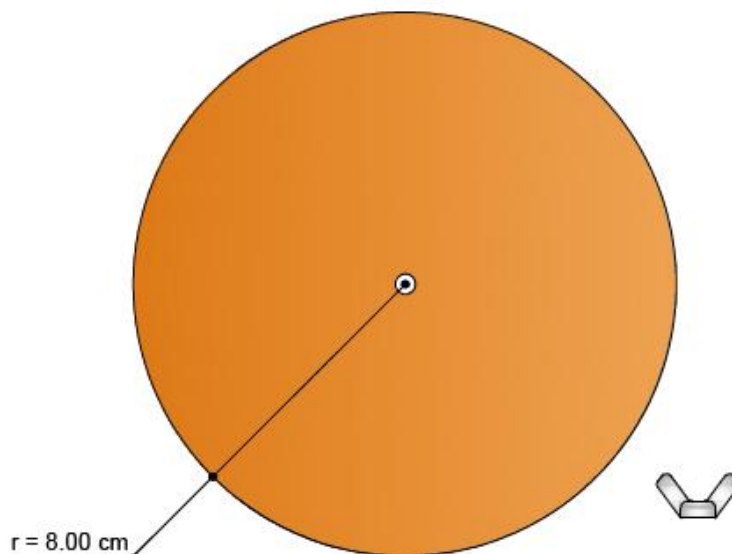
OPERADOR DE CAMPO



## ANEXO 2

## DIMENSIONES DE CONTENEDOR CONSTRUIDO





### ANEXO 3

#### RL: FORMATO DE PREPARACIÓN DE DISPOSITIVOS DE DIFUSIÓN PASIVA TIPO TUBO

PARA DETERMINACIÓN DE:

NO <sub>2</sub>	✓	SO <sub>2</sub>	
-----------------	---	-----------------	--

Número de lote (NN)	Mes - Año	Fecha de producción	Número de tubos producidos	Observaciones
01	Agosto - 2011	05/07/2011	60	
02	Octubre - 2011	05/10/2011	60	
03	Noviembre - 2011	20/10/2011	60	
04	Diciembre - 2011	17/11/2011	60	
05	Enero - 2012	13/12/2011	60	
06	Febrero - 2012	13/01/2012	60	

## ANEXO 4

## EJEMPLO DE REGISTRO DE CAMPO LLENADO

GERENCIA REGIONAL DE SALUD AREQUIPA - MINISTERIO DE SALUD  
 DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL AREQUIPA  
 ECOLOGIA PROTECCION DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL  
 LABORATORIO DE CALIDAD DE AIRE  
 CADENA DE CUSTODIA PARA LA DETERMINACION DE DIOXIDO DE NITROGENO (NO<sub>2</sub>) Y DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>) POR TUBOS PASIVOS U.C.S.M.

2da  
 .....ETAPA

MES	FEBRERO		AÑO		2011		
N°	N° DE TUBOS	ZONA DE MONITOREO	INSTALACION		RECOJO		OBSERVACIONES
			FECHA	HORA	FECHA	HORA	
1	1-2-3.	Puesto de Salud Edificadores Misti	23.01.12	13:00	23.02.12	16:25	(6)
2	4-5-6.	Ovalto San Lazaro Cercado	23.01.12	12:30	23.02.12	16:50	(7)
3	7-8-9.	Av. Miguel Forga Senati Parque Industrial	23.01.12	10:10	23.02.12	15:20	(9)
4	10-11-12.	Centro de Salud Miguel Grau Zona B	23.01.12	09:15	23.02.12	16:00	(11)
5	13-14-15.	Puesto de Salud 13 de Enero J.L.B.y R.	23.01.12	09:55	23.02.12	15:40	(12)
6	16-17-18.	Pueblo Joven Independencia	23.01.12	12:55	23.02.12	16:35	(5)
7	19-20-21.	Via de la Salud S/N (Estacion Pral)	23.01.12	15:50	23.02.12	17:30	(17)
8	22-23-24.	Puesto de Salud Manuel Prado	23.01.12	09:00	23.02.12	12:25	(10)
9	25-26-27.	U.C.S.M.	23.01.12	11:15	23.02.12	17:00	(18)
10	28-29-30.	Instituto Geofisico de la U.N.S.A.Characato	23.01.12	09:40	23.02.12	12:02	(13) B/C

## ANEXO 5

Cálculos para la determinación de concentraciones de NO<sub>2</sub> en la solución stock preparada, para la construcción de la gráfica de calibración

Datos:

PM de NaNO<sub>2</sub> = 68.9953 g/mol

PM de NO<sub>2</sub> = 46.0055 g/mol

Resolución:

a)

$$0.0375 \text{ g} * \frac{\text{mol}}{68.9953 \text{ g}} * \frac{1}{25 \text{ mL}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 0.02174 \text{ mol/L}$$

b)

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$(0.02174 \text{ mol/L}) * (1 \text{ mL}) = (C_2) * (25 \text{ mL})$$

$$C_2 = 8.6960 * 10^{-4} \text{ mol/L}$$

c)

$$\frac{8.6960 * 10^{-4} \text{ mol}}{\text{L}} * \frac{46.0055 \text{ g}}{\text{mol}} = 0.0400 \frac{\text{g}}{\text{L}} = 40 \mu\text{g/mL}$$

d) Determinación de namoles de NO<sub>2</sub> de acuerdo al volumen:

$$\frac{8.6960 * 10^{-4} \text{ mol}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} * 10 \mu\text{L} * \frac{1 \text{ mL}}{1000 \mu\text{L}} = 8.6960 * 10^{-9} \text{ mol} * \frac{10^9 \text{ nmol}}{1 \text{ mol}} = 8.696 \text{ nmol}$$

$$\frac{8.6960 * 10^{-4} \text{ mol}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} * 20 \mu\text{L} * \frac{1 \text{ mL}}{1000 \mu\text{L}} = 1.7392 * 10^{-8} \text{ mol} * \frac{10^9 \text{ nmol}}{1 \text{ mol}} = 17.392 \text{ nmol}$$

$$\frac{8.6960 * 10^{-4} \text{ mol}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} * 40 \mu\text{L} * \frac{1 \text{ mL}}{1000 \mu\text{L}} = 3.4784 * 10^{-8} \text{ mol} * \frac{10^9 \text{ nmol}}{1 \text{ mol}} = 34.784 \text{ nmol}$$

$$\frac{8.6960 * 10^{-4} \text{ mol}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} * 60 \mu\text{L} * \frac{1 \text{ mL}}{1000 \mu\text{L}} = 5.2176 * 10^{-8} \text{ mol} * \frac{10^9 \text{ nmol}}{1 \text{ mol}} = 52.176 \text{ nmol}$$

$$\frac{8.6960 * 10^{-4} \text{ mol}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} * 80 \mu\text{L} * \frac{1 \text{ mL}}{1000 \mu\text{L}} = 6.9568 * 10^{-8} \text{ mol} * \frac{10^9 \text{ nmol}}{1 \text{ mol}} = 69.568 \text{ nmol}$$

## ANEXO 6

Lecturas de absorbancia para la determinación de LINEALIDAD (Resultados de las tres lecturas realizadas).

	Absorbancias de Lectura 1	Absorbancias de Lectura 2	Absorbancias de Lectura 3
1	0.080	0.071	0.078
1	0.080	0.071	0.078
1	0.080	0.070	0.078
2	0.172	0.163	0.170
2	0.172	0.163	0.170
2	0.172	0.163	0.169
3	0.352	0.333	0.342
3	0.352	0.333	0.342
3	0.352	0.333	0.343
4	0.514	0.503	0.510
4	0.514	0.503	0.511
4	0.513	0.502	0.510
5	0.684	0.675	0.699
5	0.683	0.676	0.699
5	0.682	0.676	0.700

Fuente: Elaboración propia.

## Promedio de absorbancias mostradas en ANEXO 6.

Nº de medición	Nanomoles de NO <sub>2</sub> en los 4 mL de reactivo color	Promedio de Absorbancias de Lectura 1	Promedio de Absorbancias de Lectura 2	Promedio de Absorbancias de Lectura 3	Promedio de Absorbancias de todas las lecturas realizadas
1	8.70	0.080	0.071	0.078	0.076
2	17.39	0.172	0.163	0.170	0.168
3	34.79	0.352	0.333	0.342	0.342
4	52.18	0.514	0.502	0.510	0.509
5	69.58	0.683	0.675	0.699	0.686

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 7

**Datos de lecturas realizadas por tres operadores distintos para la determinación  
de PRECISIÓN INTERMEDIA**

<i>Operador</i>	<i>1</i>		<i>2</i>		<i>3</i>	
<i>Mes de realización de las lecturas</i>	<i>Agosto</i>		<i>Setiembre</i>		<i>Noviembre</i>	
<b>N° de medición</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Absorbancia promedio</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Absorbancia promedio</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Absorbancia promedio</b>
1	0.082	0.082	0.081	0.081	0.079	0.079
1	0.082		0.081		0.079	
1	0.082		0.081		0.080	
2	0.162	0.162	0.172	0.172	0.172	0.172
2	0.162		0.172		0.172	
2	0.162		0.172		0.172	
3	0.348	0.348	0.360	0.360	0.338	0.338
3	0.348		0.360		0.338	
3	0.348		0.360		0.338	
4	0.519	0.519	0.538	0.538	0.491	0.491
4	0.519		0.538		0.491	
4	0.519		0.538		0.491	
5	0.687	0.687	0.690	0.690	0.651	0.652
5	0.687		0.690		0.652	
5	0.688		0.690		0.652	

*Fuente: Elaboración propia.*

## ANEXO 8

Datos de lecturas realizadas por un operador en un laboratorio distinto para el análisis de REPRODUCIBILIDAD

N° de medición	Nanomoles de NO <sub>2</sub> en los 4 mL de reactivo color	Absorbancias de Lectura 1	Absorbancias de Lectura 2	Absorbancias de Lectura 3
1	8.70	0.087	0.079	0.090
2	17.39	0.173	0.167	0.170
3	34.79	0.347	0.335	0.328
4	52.18	0.503	0.499	0.496
5	69.58	0.669	0.667	0.671

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 9

Uso de dispositivos distribuidos comercialmente por el Laboratorio analítico para el medio ambiente (Männedorf SUIZA, cuya empresa representante en el Perú es Klepel Consulting S.A.C.)

Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de AGOSTO – 2011

Zona de monitoreo	N° de dispositivo	Absorbancia promedio	Cantidad (nmol) de NO <sub>2</sub> hallada a partir de la Ecuación de la gráfica
Puesto de Salud – Edificadores Misti	1	0.147	15.24
	2	0.147	15.24
	3	0.113	11.91
Óvalo San Lázaro – Cercado	4	0.728	73.28
	5	0.682	68.67
	6	0.702	70.70

Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	7	0.424	42.91
	8	0.419	42.44
	9	0.445	45.04
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	10	0.159	16.47
	11	0.159	16.49
	12	0.157	16.27
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	13	0.309	31.48
	14	0.297	30.25
	15	0.268	27.35
Pueblo Joven – Independencia	16	0.176	18.18
	17	0.188	19.41
	18	0.179	18.47
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	19	0.395	40.09
	20	0.362	36.77
	21	0.378	38.39
Puesto de Salud Manuel Prado	22	0.306	31.20
	23	0.315	32.06
	24	0.299	30.46
U.C.S.M	25	0.345	35.08
	26	0.376	38.18
	27	0.357	36.25
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	28	0.006	1.26
	29	0.015	2.13
	30	0.006	1.23

Fuente: Elaboración propia.

### Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de OCTUBRE – 2011

Zona de monitoreo	N° de dispositivo	Absorbancia promedio	Cantidad (nmol) de NO <sub>2</sub> hallada a partir de la Ecuación de la gráfica
Puesto de Salud – Edificadores Misti	1	0.099	9.95
	2	0.095	9.55
	3	0.102	10.22
Óvalo San Lázaro – Cercado	4	0.487	47.83
	5	0.608	59.71
	6	0.606	59.50
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	7	0.228	22.52
	8	0.367	36.13
	9	0.322	31.75
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	10	0.123	12.22
	11	0.093	9.28
	12	0.128	12.79

Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	13	0.205	20.32
	14	0.214	21.14
	15	0.198	19.58
Pueblo Joven – Independencia	16	0.128	12.73
	17	0.134	13.29
	18	0.166	16.43
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	19	0.259	25.56
	20	0.291	28.68
	21	0.268	26.46
Puesto de Salud Manuel Prado	22	0.221	21.83
	23	0.240	23.67
	24	0.228	22.57
U.C.S.M	25	0.232	22.96
	26	0.213	21.10
	27	0.222	21.91
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	28	0.026	2.80
	29	0.011	1.29
	30	0.007	0.88

Fuente: Elaboración propia.

### Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de NOVIEMBRE – 2011

Zona de monitoreo	N° de dispositivo	Absorbancia promedio	Cantidad (nmol) de NO <sub>2</sub> hallada a partir de la Ecuación de la gráfica
Puesto de Salud – Edificadores Misti	1	0.146	15.24
	2	0.146	15.24
	3	0.113	11.91
Óvalo San Lázaro – Cercado	4	0.728	73.28
	5	0.682	68.67
	6	0.702	70.70
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	7	0.424	42.91
	8	0.419	42.44
	9	0.445	45.04
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	10	0.159	16.47
	11	0.159	16.49
	12	0.157	16.27
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	13	0.309	31.48
	14	0.297	30.25
	15	0.268	27.35
Pueblo Joven – Independencia	16	0.176	18.18
	17	0.188	19.41
	18	0.179	18.47

Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	19	0.395	40.09
	20	0.362	36.77
	21	0.378	38.39
Puesto de Salud Manuel Prado	22	0.306	31.20
	23	0.315	32.06
	24	0.299	30.46
U.C.S.M	25	0.345	35.08
	26	0.376	38.18
	27	0.357	36.25
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	28	0.006	1.26
	29	0.015	2.13
	30	0.006	1.23

Fuente: Elaboración propia.

### Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de DICIEMBRE – 2011

Zona de monitoreo	N° de dispositivo	Absorbancia promedio	Cantidad (nmol) de NO <sub>2</sub> hallada a partir de la Ecuación de la gráfica
Puesto de Salud – Edificadores Misti	1	0.117	12.41
	2	0.123	12.90
	3	0.102	10.86
Óvalo San Lázaro – Cercado	4	0.539	53.52
	5	0.544	54.08
	6	0.478	47.55
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	7	0.237	24.07
	8	0.258	26.17
	9	0.233	23.70
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	10	0.122	12.86
	11	0.122	12.84
	12	0.137	14.27
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	13	0.172	17.78
	14	0.160	16.58
	15	0.168	17.37
Pueblo Joven – Independencia	16	0.144	15.04
	17	0.153	15.89
	18	0.145	15.11
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	19	0.199	20.35
	20	0.190	19.52
	21	0.200	20.43
Puesto de Salud Manuel Prado	22	0.170	17.51
	23	0.191	19.58
	24	0.193	19.80

U.C.S.M	25	0.198	20.31
	26	0.197	20.20
	27	0.207	21.18
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	28	0.008	1.71
	29	0.008	1.73
	30	0.005	1.47

Fuente: Elaboración propia.

### Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de ENERO – 2012

Zona de monitoreo	N° de dispositivo	Absorbancia promedio	Cantidad (nmol) de NO <sub>2</sub> hallada a partir de la Ecuación de la gráfica
Puesto de Salud – Edificadores Misti	1	0.127	12.89
	2	0.143	14.55
	3	0.147	14.95
Óvalo San Lázaro – Cercado	4	0.565	56.65
	5	0.511	51.23
	6	0.675	67.57
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	7	0.234	23.56
	8	0.230	23.20
	9	0.265	26.67
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	10	0.196	19.77
	11	0.154	15.58
	12	0.174	17.60
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	13	0.229	23.05
	14	0.182	18.42
	15	0.235	23.70
Pueblo Joven – Independencia	16	0.191	19.28
	17	0.168	16.99
	18	0.163	16.49
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	19	0.205	20.69
	20	0.215	21.65
	21	0.181	18.34
Puesto de Salud Manuel Prado	22	0.212	21.41
	23	0.221	22.27
	24	0.272	27.37
U.C.S.M	25	0.210	21.22
	26	0.245	24.71
	27	0.241	24.23
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	28	0.010	1.28
	29	0.004	0.61
	30	0.007	0.93

Fuente: Elaboración propia.

**Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de FEBRERO – 2012**

<b>Zona de monitoreo</b>	<b>N° de dispositivo</b>	<b>Absorbancia promedio</b>	<b>Cantidad (nmol) de NO<sub>2</sub> hallada a partir de la Ecuación de la gráfica</b>
Puesto de Salud – Edificadores Misti	1	0.151	15.07
	2	0.156	15.55
	3	0.155	15.52
Óvalo San Lázaro – Cercado	4	0.543	54.62
	5	0.446	44.78
	6	0.511	51.32
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	7	0.183	18.27
	8	0.215	21.56
	9	0.194	19.39
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	10	0.169	16.85
	11	0.158	15.83
	12	0.181	18.15
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	13	0.182	18.22
	14	0.203	20.35
	15	0.172	17.19
Pueblo Joven – Independencia	16	0.136	13.60
	17	0.152	15.19
	18	0.159	15.84
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	19	0.163	16.25
	20	0.170	17.04
	21	0.149	14.84
Puesto de Salud Manuel Prado	22	0.196	19.60
	23	0.238	23.81
	24	0.187	18.68
U.C.S.M	25	0.183	18.30
	26	0.163	16.15
	27	0.183	18.30
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	28	0.009	0.77
	29	0.008	0.63
	30	0.006	0.45

*Fuente: Elaboración propia.*

## ANEXO 10

## Uso de dispositivos construidos

## Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de AGOSTO – 2011

Zona de monitoreo	N° de dispositivo	Absorbancia promedio	Cantidad (nmol) de NO <sub>2</sub> hallada a partir de la Ecuación de la gráfica
Puesto de Salud – Edificadores Misti	1	0.145	15.14
	2	0.142	14.80
	3	0.138	14.36
Óvalo San Lázaro – Cercado	4	0.561	56.68
	5	0.476	48.18
	6	0.506	51.12
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	7	0.351	35.65
	8	0.367	37.26
	9	0.352	35.80
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	10	0.159	16.52
	11	0.128	13.38
	12	0.196	20.15
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	13	0.252	25.86
	14	0.243	24.92
	15	0.283	28.85
Pueblo Joven – Independencia	16	0.011	1.67
	17	0.025	3.12
	18	0.029	3.52
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	19	0.310	31.53
	20	0.282	28.73
	21	0.313	31.87
Puesto de Salud Manuel Prado	22	0.241	24.67
	23	0.247	25.28
	24	0.220	22.58
U.C.S.M	25	0.328	33.36
	26	0.273	27.83
	27	0.315	32.07
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	28	0.008	1.43
	29	0.009	1.52
	30	0.011	1.74

Fuente: Elaboración propia.

**Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de OCTUBRE – 2011**

<b>Zona de monitoreo</b>	<b>N° de dispositivo</b>	<b>Absorbancia promedio</b>	<b>Cantidad (nmol) de NO<sub>2</sub> hallada a partir de la Ecuación de la gráfica</b>
Puesto de Salud – Edificadores Misti	1	0.155	15.40
	2	0.152	15.00
	3	0.160	15.90
Óvalo San Lázaro – Cercado	4	0.310	80.50
	5	0.871	85.40
	6	0.760	72.50
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	7	0.403	39.70
	8	0.420	41.30
	9	0.395	38.90
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	10	0.1480	14.70
	11	0.160	15.90
	12	0.149	14.80
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	13	0.235	23.20
	14	0.277	27.30
	15	0.252	24.90
Pueblo Joven – Independencia	16	0.181	17.90
	17	0.183	18.10
	18	0.197	19.50
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	19	0.326	32.10
	20	0.337	33.20
	21	0.343	33.70
Puesto de Salud Manuel Prado	22	0.268	26.40
	23	0.229	22.60
	24	0.269	26.50
U.C.S.M	25	0.335	33.00
	26	0.338	33.30
	27	0.349	34.40
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	28	0.007	0.90
	29	0.004	0.10
	30	0.001	0.30

*Fuente: Elaboración propia.*

**Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de NOVIEMBRE– 2011**

<b>Zona de monitoreo</b>	<b>N° de dispositivo</b>	<b>Absorbancia promedio</b>	<b>Cantidad (nmol) de NO<sub>2</sub> hallada a partir de la Ecuación de la gráfica</b>
Puesto de Salud – Edificadores Misti	1	0.103	9.70
	2	0.139	13.40
	3	0.096	9.10
Óvalo San Lázaro – Cercado	4	0.550	54.50
	5	0.445	44.00
	6	0.583	57.80
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	7	0.239	23.40
	8	0.205	20.00
	9	0.209	20.40
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	10	0.125	12.00
	11	0.122	11.70
	12	0.134	12.90
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	13	0.170	16.50
	14	0.169	16.40
	15	0.176	17.10
Pueblo Joven – Independencia	16	0.137	13.20
	17	0.108	10.30
	18	0.121	11.60
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	19	0.202	19.80
	20	0.234	22.90
	21	0.163	15.80
Puesto de Salud Manuel Prado	22	0.256	25.20
	23	0.143	13.80
	24	0.200	19.50
U.C.S.M	25	0.238	23.30
	26	0.228	22.30
	27	0.242	23.70
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	28	0.014	0.90
	29	0.017	1.20
	30	0.013	0.70

*Fuente: Elaboración propia.*

**Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de DICIEMBRE – 2011**

<b>Zona de monitoreo</b>	<b>N° de dispositivo</b>	<b>Absorbancia promedio</b>	<b>Cantidad (nmol) de NO<sub>2</sub> hallada a partir de la Ecuación de la gráfica</b>
Puesto de Salud – Edificadores Misti	1	0.075	2.80
	2	0.130	13.60
	3	0.123	12.90
Óvalo San Lázaro – Cercado	4	0.387	38.70
	5	0.181	18.60
	6	0.384	38.40
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	7	0.079	8.60
	8	0.118	12.50
	9	0.100	10.70
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	10	0.114	12.10
	11	0.103	11.00
	12	0.092	9.90
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	13	0.125	13.20
	14	0.116	12.30
	15	0.118	12.50
Pueblo Joven – Independencia	16	0.150	15.60
	17	0.125	13.10
	18	0.153	15.90
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	19	0.114	12.10
	20	0.098	10.50
	21	0.113	12.00
Puesto de Salud Manuel Prado	22	0.127	13.30
	23	0.130	13.60
	24	0.183	18.80
U.C.S.M	25	0.103	11.00
	26	0.136	14.20
	27	0.139	14.50
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	28	0.004	1.40
	29	0.006	1.50
	30	0.008	1.80

*Fuente: Elaboración propia.*

**Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de ENERO – 2012**

<b>Zona de monitoreo</b>	<b>N° de dispositivo</b>	<b>Absorbancia promedio</b>	<b>Cantidad (nmol) de NO<sub>2</sub> hallada a partir de la Ecuación de la gráfica</b>
Puesto de Salud – Edificadores Misti	1	0.111	11.30
	2	0.149	15.10
	3	0.084	8.60
Óvalo San Lázaro – Cercado	4	0.507	50.80
	5	0.547	54.80
	6	0.606	60.70
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	7	0.222	22.30
	8	0.123	12.50
	9	0.266	26.80
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	10	0.192	19.40
	11	0.154	15.60
	12	0.146	14.80
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	13	0.205	20.70
	14	0.185	18.70
	15	0.123	12.50
Pueblo Joven – Independencia	16	0.084	8.60
	17	0.089	9.10
	18	0.057	6.00
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	19	0.089	9.20
	20	0.237	23.90
	21	0.168	17.00
Puesto de Salud Manuel Prado	22	0.181	18.30
	23	0.231	23.20
	24	0.193	19.50
U.C.S.M	25	0.262	26.30
	26	0.084	8.60
	27	0.185	18.70
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	28	0.029	3.10
	29	0.048	5.00
	30	0.013	1.50

*Fuente: Elaboración propia.*

**Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de FEBRERO – 2012**

<b>Zona de monitoreo</b>	<b>N° de dispositivo</b>	<b>Absorbancia promedio</b>	<b>Cantidad (nmol) de NO<sub>2</sub> hallada a partir de la Ecuación de la gráfica</b>
Puesto de Salud – Edificadores Misti	1	0.167	16.70
	2	0.100	10.00
	3	0.118	11.80
Óvalo San Lázaro – Cercado	4	0.663	66.70
	5	0.509	51.10
	6	0.623	62.70
Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial	7	0.137	13.70
	8	0.254	25.50
	9	0.203	20.30
Centro de Salud – Miguel Grau Zona B	10	0.178	17.80
	11	0.108	10.80
	12	0.151	15.10
Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R	13	0.235	23.50
	14	0.174	17.40
	15	0.119	11.90
Pueblo Joven – Independencia	16	0.191	19.10
	17	0.160	16.00
	18	0.179	17.90
Vía de la Salud S/N (Estación PRAL)	19	0.094	9.30
	20	0.138	13.80
	21	0.061	6.00
Puesto de Salud Manuel Prado	22	0.157	15.70
	23	0.190	19.00
	24	0.210	21.00
U.C.S.M	25	0.163	16.20
	26	0.201	20.10
	27	0.116	11.60
Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	28	0.024	2.30
	29	0.012	1.00
	30	0.009	0.80

*Fuente: Elaboración propia.*

## ANEXO 11

## DETERMINACION DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN HORAS

## AGOSTO - 2011

N°	N° DE TUBOS	ZONA DE MONITOREO	INSTALACION		RECOJO		Suma de tiempo de exposición (h)
			FECHA	HORA	FECHA	HORA	
1	1-2-3.	Puesto de Salud Edificaciones Misti	22-jul	12:25	22-ago	12:30	744
2	4-5-6.	Óvalo San Lázaro Cercado	22-jul	12:18	22-ago	12:20	744
3	7-8-9.	Av. Miguel Forga Senati Parque Industrial	22-jul	12:45	22-ago	12:45	744
4	10-11-12.	Centro de Salud Miguel Grau Zona B	22-jul	12:00	22-ago	12:05	744
5	13-14-15.	Puesto de Salud 13 de Enero J.L.B. y R.	22-jul	13:35	22-ago	13:45	744
6	16-17-18.	Pueblo Joven Independencia	22-jul	13:55	22-ago	14:00	744
7	19-20-21.	Vía de la Salud S/N (Estación Pral)	22-jul	13:20	22-ago	13:30	729
8	22-23-24.	Puesto de Salud Manuel Prado	22-jul	11:45	22-ago	11:55	735
9	25-26-27.	U.C.S.M	22-jul	10:30	22-ago	10:52	744
10	28-29-30.	Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	22-jul	09:45	22-ago	09:10	744

Fuente: Elaboración propia.

## OCTUBRE -2011

N°	N° DE TUBOS	ZONA DE MONITOREO	INSTALACIÓN		RECOJO		Suma de tiempo de exposición (h)
			FECHA	HORA	FECHA	HORA	
1	1-2-3.	Puesto de Salud Edificaciones Misti	20-sep	14:30	21-oct	13:45	744
2	4-5-6.	Óvalo San Lázaro Cercado	20-sep	14:00	21-oct	13:10	744
3	7-8-9.	Av. Miguel Forga Senati Parque Industrial	20-sep	11:10	21-oct	10:00	744
4	10-11-12.	Centro de Salud Miguel Grau Zona B	20-sep	09:20	21-oct	09:00	744
5	13-14-15.	Puesto de Salud 13 de Enero J.L.B. y R.	20-sep	11:00	21-oct	10:00	744
6	16-17-18.	Pueblo Joven Independencia	20-sep	14:15	21-oct	13:30	744
7	19-20-21.	Vía de la Salud S/N (Estación Pral)	20-sep	16:20	21-oct	15:30	744

8	22-23-24.	Puesto de Salud Manuel Prado	20-sep	09:00	21-oct	08:45	<b>744</b>
9	25-26-27.	U.C.S.M	20-sep	13:45	21-oct	12:55	<b>744</b>
10	28-29-30.	Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	20-sep	10:40	21-oct	09:25	<b>744</b>

Fuente: Elaboración propia.

### NOVIEMBRE - 2011

N°	N° DE TUBOS	ZONA DE MONITOREO	INSTALACIÓN		RECOJO		Suma de tiempo de exposición (h)
			FECHA	HORA	FECHA	HORA	
1	1-2-3.	Puesto de Salud Edificaciones Misti	21-oct	13:45	21-nov	14:10	<b>744</b>
2	4-5-6.	Óvalo San Lázaro Cercado	21-oct	13:10	21-nov	13:35	<b>744</b>
3	7-8-9.	Av. Miguel Forga Senati Parque Industrial	21-oct	10:10	21-nov	10:20	<b>744</b>
4	10-11-12.	Centro de Salud Miguel Grau Zona B	21-oct	09:00	21-nov	09:15	<b>744</b>
5	13-14-15.	Puesto de Salud 13 de Enero J.L.B. y R.	21-oct	10:00	21-nov	10:00	<b>744</b>
6	16-17-18.	Pueblo Joven Independencia	21-oct	13:30	21-nov	13:55	<b>744</b>
7	19-20-21.	Vía de la Salud S/N (Estación Pral)	21-oct	15:30	21-nov	16:15	<b>744</b>
8	22-23-24.	Puesto de Salud Manuel Prado	21-oct	08:45	21-nov	09:00	<b>744</b>
9	25-26-27.	U.C.S.M	21-oct	12:55	21-nov	12:10	<b>744</b>
10	28-29-30.	Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	21-oct	09:25	21-nov	09:40	<b>744</b>

Fuente: Elaboración propia.

### DICIEMBRE - 2011

N°	N° DE TUBOS	ZONA DE MONITOREO	INSTALACIÓN		RECOJO		Suma de tiempo de exposición (h)
			FECHA	HORA	FECHA	HORA	
1	1-2-3.	Puesto de Salud Edificaciones Misti	21-nov	14:10	20-dic	09:30	<b>696</b>
2	4-5-6.	Óvalo San Lázaro Cercado	21-nov	13:35	20-dic	09:00	<b>696</b>
3	7-8-9.	Av. Miguel Forga Senati Parque Industrial	21-nov	10:20	20-dic	14:35	<b>696</b>
4	10-11-12.	Centro de Salud Miguel Grau Zona B	21-nov	09:15	19-dic	15:05	<b>672</b>
5	13-14-15.	Puesto de Salud 13 de Enero J.L.B. y R.	21-nov	10:00	19-dic	15:30	<b>672</b>

6	16-17-18.	Pueblo Joven Independencia	21-nov	13:55	20-dic	09:20	<b>696</b>
7	19-20-21.	Vía de la Salud S/N (Estación Pral)	21-nov	16:15	19-dic	15:55	<b>672</b>
8	22-23-24.	Puesto de Salud Manuel Prado	21-nov	09:00	19-dic	14:50	<b>672</b>
9	25-26-27.	U.C.S.M	21-nov	12:10	19-dic	11:30	<b>672</b>
10	28-29-30.	Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	21-nov	09:40	20-dic	10:00	<b>696</b>

Fuente: Elaboración propia.

### ENERO -2012

Nº	Nº DE TUBOS	ZONA DE MONITOREO	INSTALACIÓN		RECOJO		Suma de tiempo de exposición (h)
			FECHA	HORA	FECHA	HORA	
1	1-2-3.	Puesto de Salud Edificaciones Misti	20-dic	09:30	23-ene	13:00	<b>816</b>
2	4-5-6.	Óvalo San Lázaro Cercado	20-dic	09:00	23-ene	12:30	<b>816</b>
3	7-8-9.	Av. Miguel Forga Senati Parque Industrial	20-dic	14:35	23-ene	10:10	<b>816</b>
4	10-11-12.	Centro de Salud Miguel Grau Zona B	19-dic	15:05	23-ene	09:15	<b>840</b>
5	13-14-15.	Puesto de Salud 13 de Enero J.L.B. y R.	19-dic	15:30	23-ene	09:55	<b>840</b>
6	16-17-18.	Pueblo Joven Independencia	20-dic	09:20	23-ene	12:55	<b>816</b>
7	19-20-21.	Vía de la Salud S/N (Estación Pral)	19-dic	15:55	23-ene	15:50	<b>840</b>
8	22-23-24.	Puesto de Salud Manuel Prado	19-dic	14:50	23-ene	09:00	<b>840</b>
9	25-26-27.	U.C.S.M	19-dic	11:30	23-ene	11:15	<b>840</b>
10	28-29-30.	Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	20-dic	10:00	23-ene	09:40	<b>816</b>

Fuente: Elaboración propia.

### FEBRERO - 2012

Nº	Nº DE TUBOS	ZONA DE MONITOREO	INSTALACIÓN		RECOJO		Suma de tiempo de exposición (h)
			FECHA	HORA	FECHA	HORA	
1	1-2-3.	Puesto de Salud Edificaciones Misti	23-ene	13:00	23-feb	16:25	<b>744</b>
2	4-5-6.	Óvalo San Lázaro Cercado	23-ene	12:30	23-feb	16:50	<b>744</b>
3	7-8-9.	Av. Miguel Forga Senati Parque Industrial	23-ene	10:10	23-feb	15:20	<b>744</b>

4	10-11-12.	Centro de Salud Miguel Grau Zona B	23-ene	09:15	23-feb	16:00	<b>744</b>
5	13-14-15.	Puesto de Salud 13 de Enero J.L.B. y R.	23-ene	09:55	23-feb	15:40	<b>744</b>
6	16-17-18.	Pueblo Joven Independencia	23-ene	12:55	23-feb	16:35	<b>744</b>
7	19-20-21.	Vía de la Salud S/N (Estación Pral)	23-ene	15:50	23-feb	17:30	<b>744</b>
8	22-23-24.	Puesto de Salud Manuel Prado	23-ene	09:00	23-feb	12:25	<b>744</b>
9	25-26-27.	U.C.S.M	23-ene	11:15	23-feb	17:00	<b>744</b>
10	28-29-30.	Instituto Geofísico de la U.N.S.A. Characato	23-ene	09:40	23-feb	12:02	<b>744</b>

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 12

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DISPOSITIVOS DISTRIBUIDOS (Grupo A) FRENTE A LOS DISPOSITIVOS CONSTRUIDOS (Grupo B).

AGOSTO - 2011

**ZONA 1:** Puesto de Salud – Edificadores Misti.

*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	17.558	18.350
Varianza	5.731	0.233
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	24.545	
P(F<=f) una cola	0.039	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	17.558	18.350
Varianza	5.731	0.233
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	-0.562	
P(T<=t) una cola	0.315	
Valor crítico de t (una cola)	2.920	
P(T<=t) dos colas	0.631	
Valor crítico de t (dos colas)	4.303	

**ZONA 2:** Óvalo San Lázaro – Cercado.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	64.606	88.086
Varianza	28.769	8.210
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	3.504	
P(F<=f) una cola	0.222	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	64.606	88.086
Varianza	28.769	8.210
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	18.489	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-6.688	
P(T<=t) una cola	0.001	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.003	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 3:** Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	40.686	45.031
Varianza	457.098	1.228
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	372.224	
P(F<=f) una cola	0.003	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	40.686	45.031
Varianza	457.098	1.228
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	-0.352	
P(T<=t) una cola	0.379	
Valor crítico de t (una cola)	2.920	
P(T<=t) dos colas	0.759	
Valor crítico de t (dos colas)	4.303	

**ZONA 4:** Centro de Salud – Miguel Grau Zona B.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	20.733	20.389
Varianza	17.752	0.023
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	758.598	
P(F<=f) una cola	0.001	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	20.733	20.389
Varianza	17.752	0.023
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	0.141	
P(T<=t) una cola	0.450	
Valor crítico de t (una cola)	2.920	
P(T<=t) dos colas	0.901	
Valor crítico de t (dos colas)	4.303	

**ZONA 5:** Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	36.898	32.982
Varianza	6.923	6.497
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.065	
P(F<=f) una cola	0.484	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	36.898	32.982
Varianza	6.923	6.497
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	6.710	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	1.851	
P(T<=t) una cola	0.069	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.138	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 6:** Pueblo Joven – Independencia.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	3.443	23.217
Varianza	1.468	0.638
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	2.299	
P(F<=f) una cola	0.303	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	3.443	23.217
Varianza	1.468	0.638
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	1.053	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-23.599	
P(T<=t) una cola	0.000	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 7:** Vía de la Salud S/N (Estación PRAL).*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	38.969	47.739
Varianza	4.776	4.239
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.127	
P(F<=f) una cola	0.470	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	38.969	47.739
Varianza	4.776	4.239
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	4.508	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-5.060	
P(T<=t) una cola	0.004	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.007	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 8:** Puesto de Salud Manuel Prado.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	30.418	38.822
Varianza	3.180	0.999
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	3.183	
P(F<=f) una cola	0.239	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	30.418	38.822
Varianza	3.180	0.999
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	2.089	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-7.120	
P(T<=t) una cola	0.001	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.002	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 9: U.C.S.M.***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	38.628	45.360
Varianza	12.945	3.769
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	3.434	
P(F<=f) una cola	0.226	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	38.628	45.360
Varianza	12.945	3.769
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	8.357	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-2.852	
P(T<=t) una cola	0.023	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.046	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 10: Blancos de campo***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	1.912	1.943
Varianza	0.402	0.040
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	10.142	
P(F<=f) una cola	0.090	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	1.912	1.943
Varianza	0.402	0.040
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.221	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-0.081	
P(T<=t) una cola	0.470	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.939	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**OCTUBRE - 2011****ZONA 1:** Puesto de Salud – Edificadores Misti.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	19.268	12.364
Varianza	0.298	0.176
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.695	
P(F<=f) una cola	0.371	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	19.268	12.364
Varianza	0.298	0.176
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.237	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	17.378	
P(T<=t) una cola	0.000	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 2:** Óvalo San Lázaro – Cercado.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	79.230	69.491
Varianza	1314.043	72.014
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	18.247	
P(F<=f) una cola	0.052	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	79.230	69.491
Varianza	1314.043	72.014
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	693.029	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	0.453	
P(T<=t) una cola	0.337	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.674	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 3:** Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	37.605	49.879
Varianza	75.207	2.425
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	31.018	
P(F<=f) una cola	0.031	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	37.605	49.879
Varianza	75.207	2.425
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	-2.413	
P(T<=t) una cola	0.069	
Valor crítico de t (una cola)	2.920	
P(T<=t) dos colas	0.137	
Valor crítico de t (dos colas)	4.303	

**ZONA 4:** Centro de Salud – Miguel Grau Zona B.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	14.264	18.882
Varianza	5.511	0.637
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	8.657	
P(F<=f) una cola	0.104	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	14.264	18.882
Varianza	5.511	0.637
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	3.074	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-3.226	
P(T<=t) una cola	0.016	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.032	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 5:** Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	31.392	25.394
Varianza	6.549	0.947
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	6.914	
P(F<=f) una cola	0.126	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	31.392	25.394
Varianza	6.549	0.947
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	3.748	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	3.794	
P(T<=t) una cola	0.010	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.019	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 6:** Pueblo Joven – Independencia.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	17.663	23.113
Varianza	6.187	1.187
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	5.213	
P(F<=f) una cola	0.161	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	17.663	23.113
Varianza	6.187	1.187
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	3.687	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-3.476	
P(T<=t) una cola	0.013	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.025	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 7:** Vía de la Salud S/N (Estación PRAL).*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	33.571	41.211
Varianza	4.024	1.041
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	3.864	
P(F<=f) una cola	0.206	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	33.571	41.211
Varianza	4.024	1.041
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	2.533	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-5.879	
P(T<=t) una cola	0.002	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.004	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 8:** Puesto de Salud Manuel Prado.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	31.432	28.315
Varianza	7.538	1.330
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	5.667	
P(F<=f) una cola	0.150	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	31.432	28.315
Varianza	7.538	1.330
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	4.434	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	1.813	
P(T<=t) una cola	0.072	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.144	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 9:** U.C.S.M.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	27.443	41.911
Varianza	1.352	0.818
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.653	
P(F<=f) una cola	0.377	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	27.443	41.911
Varianza	1.352	0.818
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	1.085	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-17.009	
P(T<=t) una cola	0.000	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 10: Blancos de campo***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	2.066	0.739
Varianza	1.586	0.150
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	10.592	
P(F<=f) una cola	0.086	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	2.066	0.739
Varianza	1.586	0.150
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.868	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	1.745	
P(T<=t) una cola	0.078	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.156	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

## NOVIEMBRE – 2011

### ZONA 1: Puesto de Salud – Edificadores Misti.

#### *Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	13.305	17.515
Varianza	8.201	5.703
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.438	
P(F<=f) una cola	0.410	
Valor crítico para F (una cola)	19	

#### *Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	13.305	17.515
Varianza	8.201	5.703
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	6.952	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-1.956	
P(T<=t) una cola	0.061	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.122	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

### ZONA 2: Óvalo San Lázaro – Cercado.

#### *Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	64.634	87.871
Varianza	79.678	8.170
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	9.753	
P(F<=f) una cola	0.093	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	64.634	87.871
Varianza	79.678	8.170
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	43.924	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-4.294	
P(T<=t) una cola	0.006	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.013	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 3:** Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	26.370	53.878
Varianza	5.391	2.957
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.823	
P(F<=f) una cola	0.354	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	26.370	53.878
Varianza	5.391	2.957
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	4.174	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-16.490	
P(T<=t) una cola	0.000	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 4:** Centro de Salud – Miguel Grau Zona B.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	15.103	20.340
Varianza	0.591	0.023
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	25.387	
P(F<=f) una cola	0.038	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	15.103	20.340
Varianza	0.591	0.023
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	-11.570	
P(T<=t) una cola	0.004	
Valor crítico de t (una cola)	2.920	
P(T<=t) dos colas	0.007	
Valor crítico de t (dos colas)	4.303	

**ZONA 5:** Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	36.808	20.637
Varianza	6.889	0.235
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	29.326	
P(F<=f) una cola	0.033	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	36.808	20.637
Varianza	6.889	0.235
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	10.494	
P(T<=t) una cola	0.004	
Valor crítico de t (una cola)	2.920	
P(T<=t) dos colas	0.009	
Valor crítico de t (dos colas)	4.303	

**ZONA 6:** Pueblo Joven – Independencia.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	14.519	23.160
Varianza	3.218	0.635
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	5.064	
P(F<=f) una cola	0.165	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	14.519	23.160
Varianza	3.218	0.635
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	1.927	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-7.625	
P(T<=t) una cola	0.001	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.002	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 7:** Vía de la Salud S/N (Estación PRAL).*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	24.150	47.621
Varianza	19.402	4.218
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	4.600	
P(F<=f) una cola	0.179	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	24.150	47.621
Varianza	19.402	4.218
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	11.810	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-8.365	
P(T<=t) una cola	0.001	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.001	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 8:** Puesto de Salud Manuel Prado.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	24.180	38.726
Varianza	49.463	0.994
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	49.761	
P(F<=f) una cola	0.020	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	24.180	38.726
Varianza	49.463	0.994
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	-3.547	
P(T<=t) una cola	0.036	
Valor crítico de t (una cola)	2.920	
P(T<=t) dos colas	0.071	
Valor crítico de t (dos colas)	4.303	

**ZONA 9: U.C.S.M.***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	45.252	28.668
Varianza	3.751	0.806
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	4.655	
P(F<=f) una cola	0.177	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	45.252	28.668
Varianza	3.751	0.806
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	2.279	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	13.456	
P(T<=t) una cola	0.000	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 10: Blancos de campo***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	1.907	1.167
Varianza	0.400	0.059
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	6.825	
P(F<=f) una cola	0.128	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	1.907	1.167
Varianza	0.400	0.059
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.229	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	1.893	
P(T<=t) una cola	0.066	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.131	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**DICIEMBRE – 2011****ZONA 1:** Puesto de Salud – Edificadores Misti.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	15.398	15.998
Varianza	15.130	2.006
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	7.544	
P(F<=f) una cola	0.117	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	15.398	15.998
Varianza	15.130	2.006
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	8.568	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-0.251	
P(T<=t) una cola	0.407	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.814	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 2:** Óvalo San Lázaro – Cercado.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	42.322	68.634
Varianza	234.656	23.092
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	10.162	
P(F<=f) una cola	0.090	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	42.322	68.634
Varianza	234.656	23.092
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	128.874	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-2.839	
P(T<=t) una cola	0.023	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.047	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 3:** Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	14.053	32.691
Varianza	6.520	3.107
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	2.098	
P(F<=f) una cola	0.323	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	14.053	32.691
Varianza	6.520	3.107
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	4.814	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-10.404	
P(T<=t) una cola	0.000	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 4:** Centro de Salud – Miguel Grau Zona B.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	15.120	18.304
Varianza	2.135	1.260
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.695	
P(F<=f) una cola	0.371	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	15.120	18.304
Varianza	2.135	1.260
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	1.697	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-2.994	
P(T<=t) una cola	0.020	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.040	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 5:** Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	23.681	17.396
Varianza	0.703	0.404
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.741	
P(F<=f) una cola	0.365	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	23.681	17.396
Varianza	0.703	0.404
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.553	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	10.350	
P(T<=t) una cola	0.000	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 6:** Pueblo Joven – Independencia.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	19.725	20.366
Varianza	4.093	0.387
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	10.573	
P(F<=f) una cola	0.086	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	19.725	20.366
Varianza	4.093	0.387
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	2.240	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-0.524	
P(T<=t) una cola	0.314	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.628	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 7:** Vía de la Salud S/N (Estación PRAL).*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	15.851	27.620
Varianza	1.573	0.485
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	3.241	
P(F<=f) una cola	0.236	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	15.851	27.620
Varianza	1.573	0.485
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	1.029	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-14.207	
P(T<=t) una cola	0.000	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 8:** Puesto de Salud Manuel Prado.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	20.948	26.052
Varianza	18.331	3.010
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	6.091	
P(F<=f) una cola	0.141	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	20.948	26.052
Varianza	18.331	3.010
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	10.671	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-1.913	
P(T<=t) una cola	0.064	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.128	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 9: U.C.S.M.***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	18.200	28.257
Varianza	7.182	0.542
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	13.241	
P(F<=f) una cola	0.070	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	18.200	28.257
Varianza	7.182	0.542
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	3.862	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-6.267	
P(T<=t) una cola	0.002	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.003	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 10: Blancos de campo***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	2.058	2.172
Varianza	0.070	0.035
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.990	
P(F<=f) una cola	0.334	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	2.058	2.172
Varianza	0.070	0.035
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.053	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-0.606	
P(T<=t) una cola	0.289	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.577	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ENERO - 2012****ZONA 1:** Puesto de Salud – Edificadores Misti.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A
Media	13.236	16.026
Varianza	13.427	1.544
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	8.698	
P(F<=f) una cola	0.103	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	13.236	16.026
Varianza	13.427	1.544
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	7.485	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-1.249	
P(T<=t) una cola	0.140	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.280	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 2:** Óvalo San Lázaro – Cercado.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	66.332	62.853
Varianza	89.048	32.085
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	2.775	
P(F<=f) una cola	0.265	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	66.332	62.853
Varianza	89.048	32.085
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	60.566	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	0.547	
P(T<=t) una cola	0.307	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.613	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 3:** Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	23.313	27.773
Varianza	68.126	4.676
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	14.569	
P(F<=f) una cola	0.064	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	23.313	27.773
Varianza	68.126	4.676
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	36.401	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-0.905	
P(T<=t) una cola	0.208	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.416	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 4:** Centro de Salud – Miguel Grau Zona B.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	18.283	19.455
Varianza	7.405	5.327
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.390	
P(F<=f) una cola	0.418	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	18.283	19.455
Varianza	7.405	5.327
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	6.366	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-0.569	
P(T<=t) una cola	0.300	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.600	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 5:** Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	19.053	23.943
Varianza	22.045	10.082
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	2.187	
P(F<=f) una cola	0.314	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	19.053	23.943
Varianza	22.045	10.082
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	16.064	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-1.494	
P(T<=t) una cola	0.105	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.209	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 6:** Pueblo Joven – Independencia.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	8.952	19.947
Varianza	3.718	2.860
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.300	
P(F<=f) una cola	0.435	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	8.952	19.947
Varianza	3.718	2.860
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	3.289	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-7.425	
P(T<=t) una cola	0.001	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.002	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 7:** Vía de la Salud S/N (Estación PRAL).*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	18.412	22.289
Varianza	66.232	3.528
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	18.771	
P(F<=f) una cola	0.051	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	18.412	22.289
Varianza	66.232	3.528
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	34.880	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-0.804	
P(T<=t) una cola	0.233	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.467	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 8:** Puesto de Salud Manuel Prado.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	26.105	22.426
Varianza	12.588	8.112
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.552	
P(F<=f) una cola	0.392	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	26.105	22.426
Varianza	12.588	8.112
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	10.350	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	1.401	
P(T<=t) una cola	0.117	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.234	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 9:** U.C.S.M.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	19.709	25.774
Varianza	96.390	4.352
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	22.149	
P(F<=f) una cola	0.043	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	19.709	25.774
Varianza	96.390	4.352
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	-1.047	
P(T<=t) una cola	0.203	
Valor crítico de t (una cola)	2.920	
P(T<=t) dos colas	0.405	
Valor crítico de t (dos colas)	4.303	

**ZONA 10: Blancos de campo***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	3.638	1.069
Varianza	3.883	0.145
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	26.723	
P(F<=f) una cola	0.036	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	3.638	1.069
Varianza	3.883	0.145
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	2.217	
P(T<=t) una cola	0.078	
Valor crítico de t (una cola)	2.920	
P(T<=t) dos colas	0.157	
Valor crítico de t (dos colas)	4.303	

**FEBRERO - 2012****ZONA 1:** Puesto de Salud – Edificadores Misti.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	16.031	18.957
Varianza	18.865	0.482
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	39.169	
P(F<=f) una cola	0.025	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	16.031	18.957
Varianza	18.865	0.482
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	-1.152	
P(T<=t) una cola	0.184	
Valor crítico de t (una cola)	2.920	
P(T<=t) dos colas	0.368	
Valor crítico de t (dos colas)	4.303	

**ZONA 2:** Óvalo San Lázaro – Cercado.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	75.241	62.834
Varianza	101.973	39.226
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	2.600	
P(F<=f) una cola	0.278	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	75.241	62.834
Varianza	101.973	39.226
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	70.600	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	1.808	
P(T<=t) una cola	0.072	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.145	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 3:** Av. Miguel Forga – Senati Parque Industrial.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	24.790	24.684
Varianza	54.304	4.376
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	12.411	
P(F<=f) una cola	0.075	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	24.790	24.684
Varianza	54.304	4.376
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	29.340	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	0.024	
P(T<=t) una cola	0.491	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.982	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 4:** Centro de Salud – Miguel Grau Zona B.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	18.233	21.188
Varianza	19.856	2.105
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	9.433	
P(F<=f) una cola	0.096	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	18.233	21.188
Varianza	19.856	2.105
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	10.981	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-1.092	
P(T<=t) una cola	0.168	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.336	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 5:** Puesto de Salud – 13 de Enero J.L.B y R.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	22.020	23.243
Varianza	53.344	4.074
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	13.095	
P(F<=f) una cola	0.071	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	22.020	23.243
Varianza	53.344	4.074
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	28.709	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-0.280	
P(T<=t) una cola	0.397	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.794	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 6:** Pueblo Joven – Independencia.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	22.080	18.610
Varianza	3.977	2.074
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.918	
P(F<=f) una cola	0.343	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	22.080	18.610
Varianza	3.977	2.074
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	3.025	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	2.443	
P(T<=t) una cola	0.035	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.071	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 7:** Vía de la Salud S/N (Estación PRAL).*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	12.124	20.069
Varianza	24.091	1.953
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	12.337	
P(F<=f) una cola	0.075	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	12.124	20.069
Varianza	24.091	1.953
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	13.022	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-2.697	
P(T<=t) una cola	0.027	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.054	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 8:** Puesto de Salud Manuel Prado.*Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	25.889	23.225
Varianza	11.696	11.307
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.034	
P(F<=f) una cola	0.492	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	25.889	23.225
Varianza	11.696	11.307
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	11.502	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	0.962	
P(T<=t) una cola	0.195	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.390	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 9: U.C.S.M.***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	19.985	21.995
Varianza	28.587	2.411
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	11.857	
P(F<=f) una cola	0.078	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	19.985	21.995
Varianza	28.587	2.411
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	15.499	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-0.625	
P(T<=t) una cola	0.283	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.566	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ZONA 10: Blancos de campo***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	1.724	0.769
Varianza	1.054	0.040
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	26.319	
P(F<=f) una cola	0.037	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales*

	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo A	$NO_2(\mu g/m^3)$ en Grupo B
Media	1.724	0.769
Varianza	1.054	0.040
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	1.582	
P(T<=t) una cola	0.127	
Valor crítico de t (una cola)	2.920	
P(T<=t) dos colas	0.254	
Valor crítico de t (dos colas)	4.303	

## ANEXO 13

## ENERO - 2012

N°	N° DE TUBOS	ZONA DE MONITOREO	INSTALACION		RECOJO		Suma de tiempo de exposición (h)
			FECHA	HORA	FECHA	HORA	
1	12.	Bellavista Calle Principal s/n. Hunter	29-dic	16:30	25-ene	09:17	648
2	12.	Variante de Uchumayo km 1.5.	29-dic	20:20	25-ene	08:35	648

Fuente: Elaboración propia.

## FEBRERO - 2012

N°	N° DE TUBOS	ZONA DE MONITOREO	INSTALACION		RECOJO		Suma de tiempo de exposición (h)
			FECHA	HORA	FECHA	HORA	
1	1-2-3.	Bellavista Calle Principal s/n. Hunter	16-feb	16:05	28-feb	08:04	288
2	4-5-6.	Variante de Uchumayo km 1.5.	15-feb	20:20	28-feb	10:42	312
3	7-8-9.	Urb. Terminal Terrestre	18-feb	10:15	28-feb	10:00	240

## ANEXO 14

**RL: FORMATO DE PREPARACIÓN DE DISPOSITIVOS DE DIFUSIÓN PASIVA TIPO TUBO**

**PARA DETERMINACIÓN DE:**

NO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>	✓
-----------------	--	-----------------	---

Número de lote (NN)	Mes - Año	Fecha de producción	Número de tubos producidos	Observaciones
01	Enero - 2012	27/12/2011	24	
02	Febrero - 2012	15/02/2012	9	

## ANEXO 16

REPORTE ARROJADO POR EL EQUIPO TITRANDO 808 EN LA VALORACION DEL  
BISULFITO DE SODION° de medición 2: Lectura del *blanco*.

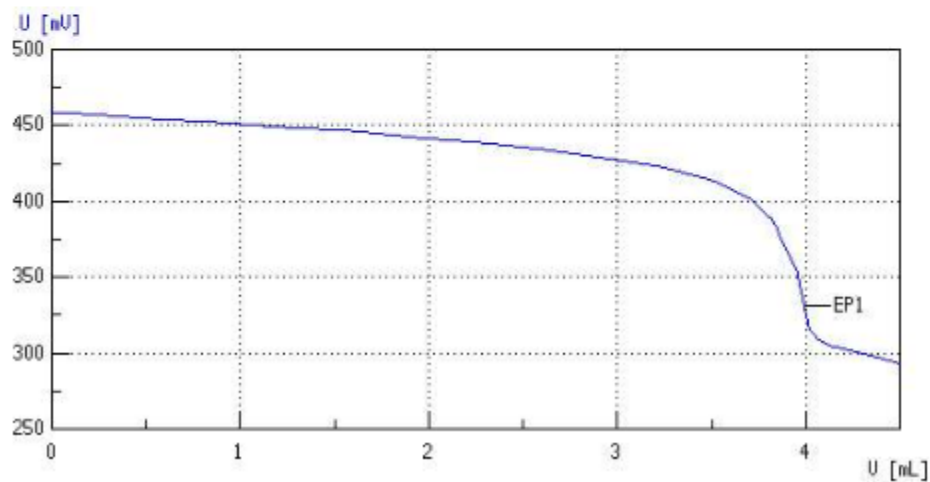
## Result report

<b>Determination</b>	Method . . . . . Valoracion Tiosulfato de Sodio Last saved on . . . . . 2012-01-19 12:22:12 ver. 3 Method status . . . . . modified Determ. time . . . . . 2012-01-20 15:05:57 Status of deter. . . . . original Sample number . . . . . 10 User . . . . . Disulfito de sodio
<b>Sample data</b>	Identification 1 . . . . . Lec 4 Identification 2 . . . . . Blanco 1mL Sample size . . . . . 70 mL
<b>01 DET U</b> Titration	Dynamic U titration EP1 . . . . . 330,7 mV . . . . . 3,9923 mL Stop volume reached

## Results

## Curve

01 DET U Dynamic U titration



Nº de medición 3: Lectura del *blanco*.

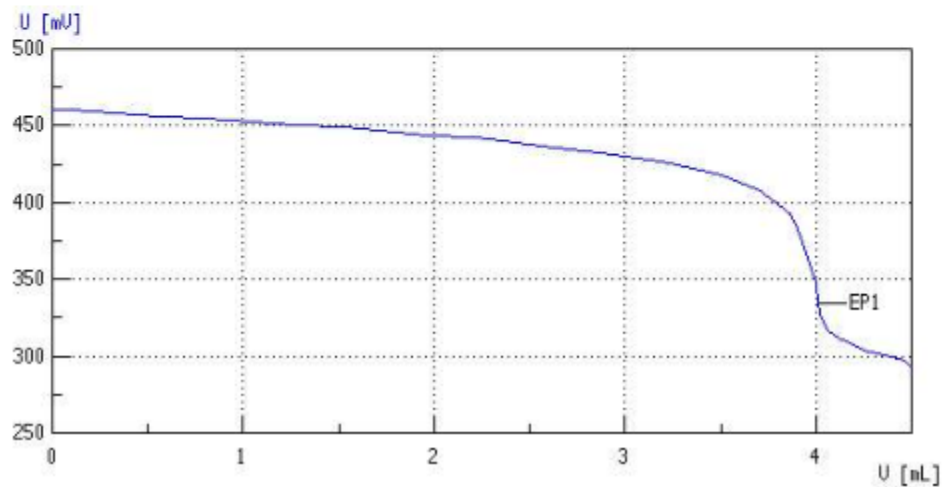
## Result report

<b>Determination</b>	Method . . . . . Valoracion Tiosulfato de Sodio Last saved on . . . . . 2012-01-19 12:22:12 ver. 3 Method status . . . . . modified Determin. time . . . . . 2012-01-20 15:15:13 Status of deter. . . . . original Sample number . . . . . 11 User . . . . . Disulfito de sodio
<b>Sample data</b>	Identification 1 . . . . . Lec 5 Identification 2 . . . . . Blanco 1mL Sample size . . . . . 70 mL
<b>01 DET U</b>	Dynamic U titration
Titration	EP1 . . . . . 333,9 mV . . . . . 4,0169 mL Stop volume reached

## Results

### Curve

01 DET U Dynamic U titration



## N° de medición 2: Lectura de muestra.

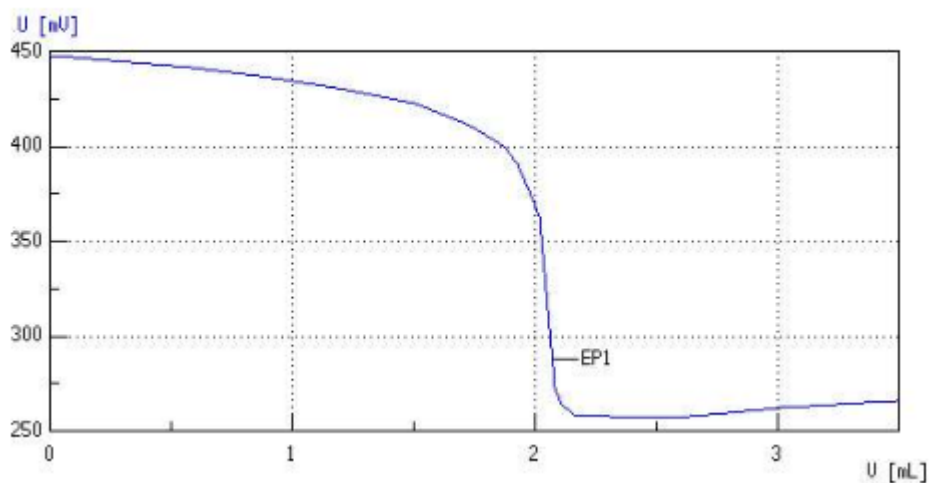
## Result report

<b>Determination</b>	Method . . . . .	<b>Valoracion Tiosulfato de Sodio</b>
	Last saved on . . . . .	2012-01-19 12:22:12 ver. 3
	Method status . . . . .	modified
	Determ. time . . . . .	2012-01-20 16:11:30
	Status of deter. . . . .	original
	Sample number . . . . .	15
	User . . . . .	Disulfito de sodio
<b>Sample data</b>	Identification 1 . . . . .	Lec 5
	Identification 2 . . . . .	Muestra1mL
	Sample size . . . . .	70 mL
<b>01 DET U</b>	Dynamic U titration	
Titration	EP1 . . . . .	287,7 mV . . . . . 2,0720 mL
	Stop volume reached	

## Results

## Curve

01 DET U Dynamic U titration



N° de medición 3: Lectura de muestra.

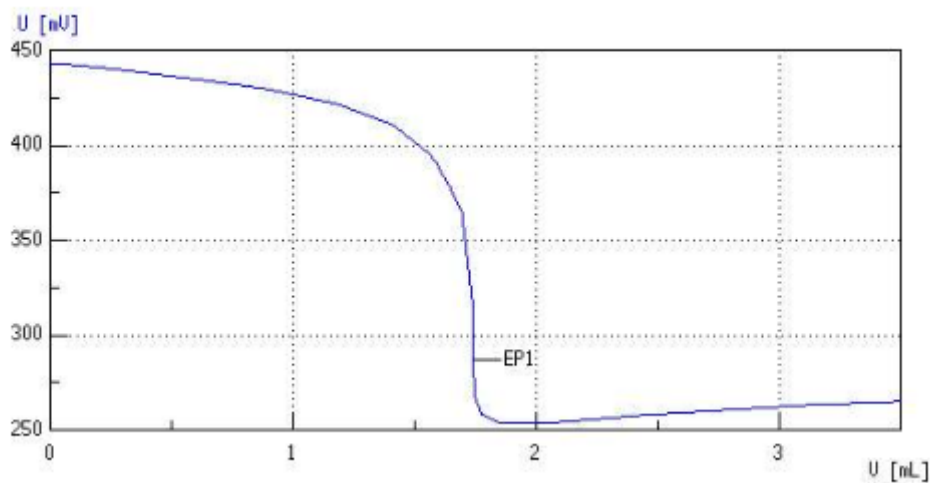
## Result report

<b>Determination</b>	Method . . . . .	<b>Valoracion Tiosulfato de Sodio</b>
	Last saved on . . . . .	2012-01-19 12:22:12 ver. 3
	Method status . . . . .	modified
	Determ. time . . . . .	2012-01-20 16:16:25
	Status of deter. . . . .	original
	Sample number . . . . .	16
	User . . . . .	Disulfito de sodio
<b>Sample data</b>	Identification 1 . . . . .	Lec 6
	Identification 2 . . . . .	Muestra1mL
	Sample size . . . . .	70 mL
<b>01 DET U</b>	Dynamic U titration	
Titration	EP1 . . . . .	288,6 mV . . . . . 1,7434 mL
	Stop volume reached	

## Results

### Curve

01 DET U Dynamic U titration



## ANEXO 17

**Lecturas de absorbancia para la determinación de LINEALIDAD (Resultados de las tres lecturas realizadas)**

	<b>Absorbancias de Lectura 1</b>	<b>Absorbancias de Lectura 2</b>	<b>Absorbancias de Lectura 3</b>
<b>1</b>	0.030	0.029	0.030
<b>1</b>	0.030	0.029	0.030
<b>1</b>	0.030	0.026	0.030
<b>2</b>	0.070	0.070	0.082
<b>2</b>	0.070	0.070	0.081
<b>2</b>	0.070	0.070	0.081
<b>3</b>	0.167	0.158	0.167
<b>3</b>	0.167	0.159	0.166
<b>3</b>	0.167	0.159	0.166
<b>4</b>	0.253	0.256	0.252
<b>4</b>	0.253	0.257	0.254
<b>4</b>	0.253	0.256	0.254
<b>5</b>	0.347	0.348	0.329
<b>5</b>	0.347	0.333	0.329
<b>5</b>	0.348	0.330	0.330

*Fuente: Elaboración propia.*

**Promedio de absorbancias mostradas en tabla anterior**

<b>Nº de medición</b>	<b>Concentración de dióxido de azufre (µg/mL)</b>	<b>Promedio de Absorbancias de Lectura 1</b>	<b>Promedio de Absorbancias de Lectura 2</b>	<b>Promedio de Absorbancias de Lectura 3</b>	<b>Promedio de Absorbancias de todas las lecturas realizadas</b>
1	0.13	0.030	0.028	0.030	0.029
2	0.27	0.070	0.070	0.081	0.074
3	0.53	0.167	0.158	0.166	0.164
4	0.79	0.253	0.257	0.253	0.254
5	1.06	0.347	0.337	0.330	0.338

*Fuente: Elaboración propia.*

## ANEXO 18

**Datos de lecturas realizadas por tres operadores distintos para la determinación  
de PRECISIÓN INTERMEDIA**

<i>Operador</i>	<i>1</i>		<i>2</i>		<i>3</i>	
<i>Mes de realización de las lecturas</i>	<i>Agosto</i>		<i>Setiembre</i>		<i>Setiembre</i>	
<b>N° de medición</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Absorbancia promedio</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Absorbancia promedio</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Absorbancia promedio</b>
1	0.030	0.030	0.030	0.030	0.034	0.034
1	0.030		0.030		0.034	
1	0.030		0.030		0.034	
2	0.082	0.081	0.070	0.070	0.082	0.082
2	0.081		0.070		0.082	
2	0.081		0.070		0.082	
3	0.167	0.166	0.167	0.167	0.187	0.183
3	0.166		0.167		0.183	
3	0.166		0.167		0.178	
4	0.252	0.253	0.253	0.253	0.260	0.260
4	0.254		0.253		0.260	
4	0.254		0.253		0.260	
5	0.329	0.330	0.347	0.347	0.341	0.341
5	0.329		0.347		0.341	
5	0.330		0.348		0.341	

*Fuente: Elaboración propia.*

## ANEXO 19

**Datos de lecturas realizadas por un operador en un laboratorio distinto para el  
análisis de REPRODUCIBILIDAD**

<b>N° de medición</b>	<b>Concentración de SO<sub>2</sub> (µg/mL)</b>	<b>Absorbancias de Lectura 1</b>	<b>Absorbancias de Lectura 2</b>	<b>Absorbancias de Lectura 3</b>
1	0.13	0.024	0.023	0.025
2	0.27	0.066	0.072	0.076
3	0.53	0.160	0.161	0.160
4	0.79	0.244	0.241	0.251
5	1.06	0.328	0.318	0.328

*Fuente: Elaboración propia.*

## ANEXO 20

## Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de ENERO – 2012

Zona de monitoreo	N° de dispositivo	Absorbancia	Concentración ( $\mu\text{g/mL}$ ) de $\text{SO}_2$ hallada a partir de la <i>Ecuación de la gráfica</i>
Bellavista Calle Principal s/n. Hunter <b>GRUPO 1</b>	1	0.0374	0.15
	2	0.0403	0.16
	3	0.0366	0.15
Bellavista Calle Principal s/n. Hunter <b>GRUPO 2</b>	4	0.045	0.18
	5	0.035	0.15
	6	0.0394	0.16
Bellavista Calle Principal s/n. Hunter <b>GRUPO 3</b>	7	0.0419	0.17
	8	0.0389	0.16
	9	0.0403	0.16
Bellavista Calle Principal s/n. Hunter <b>GRUPO 4</b>	10	0.0445	0.18
	11	0.0456	0.18
	12	0.0418	0.17
Variante de Uchumayo km 1.5 <b>GRUPO 1</b>	13	0.0655	0.23
	14	0.0618	0.23
	15	0.0643	0.23
Variante de Uchumayo km 1.5 <b>GRUPO 2</b>	16	0.0639	0.23
	17	0.0659	0.24
	18	0.0591	0.22
Variante de Uchumayo km 1.5 <b>GRUPO 3</b>	19	0.0676	0.24
	20	0.0627	0.23
	21	0.0643	0.23
Variante de Uchumayo km 1.5 <b>GRUPO 4</b>	22	0.0657	0.24
	23	0.0727	0.26
	24	0.0669	0.24

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 21

**Zona: Bellavista Calle Principal s/n. Hunter. GRUPO 1 vs. GRUPO 2.***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	<i>Absorbancia G2</i>	<i>Absorbancia G1</i>
Media	0.040	0.038
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	6.628	
P(F<=f) una cola	0.131	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	<i>Absorbancia G2</i>	<i>Absorbancia G1</i>
Media	0.040	0.038
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	1.446E-05	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	0.548	
P(T<=t) una cola	0.307	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.613	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**Zona: Bellavista Calle Principal s/n. Hunter. GRUPO 3 vs. GRUPO 4.***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	<i>Absorbancia G4</i>	<i>Absorbancia G3</i>
Media	0.044	0.040
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.697	
P(F<=f) una cola	0.371	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	<i>Absorbancia G4</i>	<i>Absorbancia G3</i>
Media	0.044	0.040
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	3.038E-06	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	2.529	
P(T<=t) una cola	0.032	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.065	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**Zona: Bellavista Calle Principal s/n. Hunter. GRUPO 1 vs. GRUPO 3.***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	<i>Absorbancia G1</i>	<i>Absorbancia G3</i>
Media	0.038	0.040
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.682	
P(F<=f) una cola	0.373	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	<i>Absorbancia G1</i>	<i>Absorbancia G3</i>
Media	0.038	0.040
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	3.022E-06	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-1.597	
P(T<=t) una cola	0.093	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.185	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**Zona: Bellavista Calle Principal s/n. Hunter. GRUPO 2 vs. GRUPO 4.***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	<i>Absorbancia G2</i>	<i>Absorbancia G4</i>
Media	0.040	0.044
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	6.570	
P(F<=f) una cola	0.132	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	<i>Absorbancia G2</i>	<i>Absorbancia G4</i>
Media	0.040	0.044
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	1.4472E-05	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-1.341	
P(T<=t) una cola	0.125	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.251	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**Zona: Variante de Uchumayo km 1.5. GRUPO 1 vs. GRUPO 2.***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	<i>Absorbancia G2</i>	<i>Absorbancia G1</i>
Media	0.063	0.064
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	3.428	
P(F<=f) una cola	0.226	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	<i>Absorbancia G2</i>	<i>Absorbancia G1</i>
Media	0.063	0.064
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	7.888E-06	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-0.392	
P(T<=t) una cola	0.357	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.715	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**Zona: Variante de Uchumayo km 1.5. GRUPO 3 vs. GRUPO 4.***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	<i>Absorbancia G4</i>	<i>Absorbancia G3</i>
Media	0.068	0.065
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	2.245	
P(F<=f) una cola	0.308	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	<i>Absorbancia G4</i>	<i>Absorbancia G3</i>
Media	0.068	0.065
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	1.013E-05	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	1.373	
P(T<=t) una cola	0.121	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.242	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**Zona: Variante de Uchumayo km 1.5. GRUPO 1 vs. GRUPO 3.***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	<i>Absorbancia G3</i>	<i>Absorbancia G1</i>
Media	0.065	0.064
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.752	
P(F<=f) una cola	0.363	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	<i>Absorbancia G3</i>	<i>Absorbancia G1</i>
Media	0.065	0.064
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	4.903E-06	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	0.553	
P(T<=t) una cola	0.305	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.610	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**Zona: Variante de Uchumayo km 1.5. GRUPO 2 vs. GRUPO 4.***Prueba F para varianzas de dos muestras*

	<i>Absorbancia G4</i>	<i>Absorbancia G2</i>
Media	0.068	0.063
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Grados de libertad	2	2
F	1.147	
P(F<=f) una cola	0.466	
Valor crítico para F (una cola)	19	

*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*

	<i>Absorbancia G4</i>	<i>Absorbancia G2</i>
Media	0.068	0.063
Varianza	0.000	0.000
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	1.311E-05	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	1.849	
P(T<=t) una cola	0.069	
Valor crítico de t (una cola)	2.132	
P(T<=t) dos colas	0.138	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776	

**ANEXO 22****Resultados obtenidos de lectura de muestras para el mes de FEBRERO – 2012**

<b>Zona de monitoreo</b>	<b>N° de dispositivo</b>	<b>Absorbancia promedio</b>	<b>Concentración (µg/mL) de SO<sub>2</sub> hallada a partir de la Ecuación de la gráfica</b>
Bellavista Calle Principal s/n. Hunter	1	0.018	0.10
	2	0.018	0.10
	3	0.018	0.10
Variante de Uchumayo km 1.5	4	0.022	0.11
	5	0.022	0.11
	6	0.022	0.11
Urb. Terminal Terrestre	7	0.023	0.13
	8	0.028	0.12
	9	0.025	0.12

*Fuente: Elaboración propia.*