



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

COMPARACIÓN DE UN MÉTODO ACTIVO Y UN  
MÉTODO PASIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE  
AMONIACO EN FASE GAS EN AIRE AMBIENTE

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA:

**ROXANA HERNÁNDEZ DELGADO**



MÉXICO D.F.

AÑO 2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesor: María Rafaela Gutiérrez Lara

**VOCAL:** Profesor: Luz María Lazcano Arriola

**SECRETARIO:** Profesor: Gema Luz Andraca Ayala

**1er. SUPLENTE:** Profesor: Carolina Flores Ávila

**2° SUPLENTE:** Profesor: Alejandra Mendoza Campos

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**DEPARTAMENTO DE FISICOQUÍMICA ATMOSFÉRICA**

**CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA**

**UNAM**

**ASESOR DEL TEMA:**

---

**DRA. GEMA LUZ ANDRACA AYALA**

**SUSTENTANTE:**

---

**ROXANA HERNÁNDEZ DELGADO**

## Índice

1. Introducción	
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	2
2. Generalidades	
2.1 Atmósfera	3
2.2 Química atmosférica	6
2.3 Amoniacó	6
2.4 Importancia del amoniacó en la química atmosférica	8
2.5 Normatividad	9
2.6 Tipos de muestreo	14
2.6.1 Muestreo Activo	14
2.6.2 Muestreo Pasivo	15
2.7 Espectrofotometría	16
2.7.1 Exactitud espectrofotométrica	18
3. Metodología	
3.1 Método Burbujeadores	21
3.1.1 Método analítico para burbujeadores	21
3.1.2 Procedimiento	21
3.1.2.1 Recolección de la muestra	21
3.1.2.2 Período de muestreo	23
3.1.2.3 Análisis de muestras obtenidas por el método de burbujeadores	24
3.1.3. Interferencias en el muestreo	25

3.2 Método captadores pasivos	26
3.2.1 Método analítico para captadores pasivos	26
3.2.2 Procedimiento	27
3.2.2.1 Recolección de la muestra	27
3.2.2.2 Periodo de muestreo	28
3.2.2.3 Análisis de muestras obtenidas por el método pasivo	29
3.2.3. Interferencia en el muestreo	30
4. Resultados	
4.1 Método de Burbujeadores	31
4.2 Método de Captadores pasivos	33
4.3 Masa de amoniaco capturada	34
4.4 Meteorología	39
5. Conclusiones	48
6. Referencias	49
7. Anexo	
A.1 Equipo y reactivos para método de burbujeadores	i
A.2 Preparación de soluciones para método de burbujeadores	i
A.3 Curva de calibración para el método de burbujeadores	iii
A.4 Memoria de cálculo para el método de burbujeadores	v
A.5 Equipo y reactivos para método de captadores pasivos	xii
A.6 Preparación de soluciones para método de captadores pasivos	xii
A.7 Curva de calibración para el método de captadores pasivos	xiii



# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Introducción

El amoníaco es un gas incoloro muy reactivo con el aire y con un tiempo de vida media muy corto, su peso molecular es 17 g/mol y en grandes cantidades o ante largos periodos de exposición causa severos daños a la salud. Sus principales usos son como fertilizante y como materia prima en la fabricación de detergentes, las principales fuentes de emisión son algunas actividades antropogénicas como la combustión de los automóviles sin embargo la descomposición de la materia orgánica en las zonas rurales es una fuente mayor.

La Ciudad de México no cuenta con una norma que establezca los límites máximos permisibles de la concentración de amoníaco en el aire ambiente, únicamente se cuenta con una norma de ambiente laboral. Existen diferentes métodos de muestreo ambiental, por mencionar algunos, los métodos activos y pasivos; los primeros requieren de una fuerza generada, por lo general una bomba con la cual se haga pasar el gas por los captadores, mientras que los muestreadores pasivos funcionan únicamente debido a las características de su geometría.

En este trabajo se determinaron las ventajas y desventajas de ambos métodos de muestreo, activo y pasivo. Se instalaron ambos sistemas en el Laboratorio de Cromatografía de Líquidos del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, los muestreos se llevaron a cabo simultáneamente para asegurar que las condiciones meteorológicas fueran iguales para ambos casos.

Para el muestreo activo el amoníaco se capturó en forma líquida haciendo pasar el aire en una solución de ácido sulfúrico, por lo que la muestra que se obtiene al final es de sulfato de amonio. Por su parte en el muestreo pasivo se hizo una extracción líquida del filtro impregnado obteniendo nitrato de amonio. Ambas soluciones se analizaron por espectrofotometría de luz UV. De esta forma se

conoció la absorbancia con lo que se calculó la concentración de amoniaco en líquido y posteriormente la concentración en aire de éste.

## 1.2 Objetivos

- Comparar la efectividad del método activo (burbujeadores) y del método pasivo (catadores pasivos) en la captura del amoniaco en aire.
- Determinar la concentración de amoniaco en el aire de la Ciudad de México en el área circundante del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

## CAPÍTULO 2

### GENERALIDADES

#### 2. 1 Atmósfera

La atmósfera se refiere a la capa gaseosa que rodea a nuestro planeta. Está constituida principalmente por nitrógeno y oxígeno molecular en proporción de 78% y 21% de la masa respectivamente, el resto está formado por argón, dióxido de carbono y otras especies en variados estados de agregación que por sus infinitas cantidades se denominan trazas atmosféricas. Son estas trazas atmosféricas las que definen las propiedades químicas y establecen las condiciones para la vida.

La atmósfera primitiva debió estar compuesta únicamente de emanaciones volcánicas, es decir, vapor de agua, dióxido de carbono, dióxido de azufre y nitrógeno sin rastro apenas de oxígeno.

Más tarde, cuando evolucionó la vida primitiva capaz de realizar la fotosíntesis, empezó a producir oxígeno. Hace unos 570 millones de años, el contenido en oxígeno de la atmósfera y los océanos aumentó lo bastante como para permitir la existencia de la vida marina. Pero fue hasta hace unos 400 millones de años cuando la atmósfera contenía el oxígeno suficiente para permitir la evolución de animales terrestres capaces de respirar aire. (Morales, 2006)

En la tabla 2.1 se enlistan los constituyentes atmosféricos y la razón de mezcla en volumen de aire seco.

**Tabla 2.1 Composición del aire.**

<b>Constituyente atmosférico</b>	<b>Fórmula química</b>	<b>Razón de mezcla en volumen de aire seco</b>
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	78.084%
Oxígeno	O <sub>2</sub>	20.948%
Argón	Ar	0.934%
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	360ppm
Neón	Ne	18.18ppm
Helio	He	5.24ppm
Metano	CH <sub>4</sub>	1.7ppm
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0.55ppm
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	310ppb
Monóxido de carbono	CO	50-200ppb
Ozono (troposférico)	O <sub>3</sub>	10-500ppb
Ozono (estratosférico)	O <sub>3</sub>	0.5-10ppm
Hidrocarburos no metálicos		5-20ppb
Halocarbonos		3.8ppb
Óxidos de nitrógeno	NO	10ppt-1ppm
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	10ppt-1ppb
Nitrato particulado	NHO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10ppt-10ppb
Amoniaco particulado	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	10ppt-1ppb
Hidróxido	OH	0.1ppt-10ppt
Peróxido	HO <sub>2</sub> <sup>+</sup>	0.1ppb-10ppb
Peróxido de hidrógeno	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.1-1ppb
Formaldehido	CH <sub>2</sub> O	10ppt-1ppb
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	10-100ppt
Dimetil sulfuro	CH <sub>3</sub> SCH <sub>3</sub>	1-300ppt
Carbonil sulfuro	OCS	500ppt
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	5-500ppt
Sulfato particulado	SO <sub>2</sub> <sup>4-</sup>	10ppt-10ppb

La atmósfera se divide en las siguientes capas (ver figura 2.1):

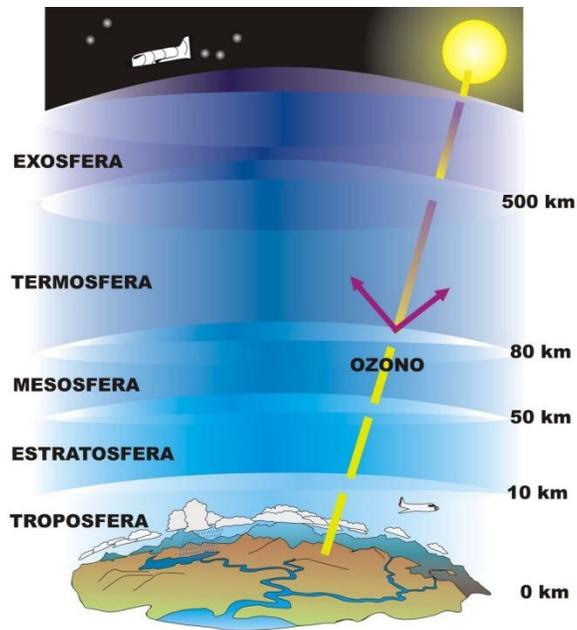
La **tropósfera** es la más cercana a la tierra, llega hasta un límite superior situado a 9 Km de altura en los polos y los 18 km en el ecuador. En ella se producen importantes movimientos verticales y horizontales de las masas de aire (vientos) y hay relativa abundancia de agua. Es la zona de las nubes y los fenómenos climáticos: lluvias, vientos, cambios de temperatura. La temperatura va disminuyendo conforme se va subiendo, hasta llegar a  $-70^{\circ}\text{C}$  en su límite superior.

La **estratósfera** llega hasta los 50 km de altitud. La temperatura cambia su tendencia y va aumentando hasta llegar a ser de alrededor de  $0^{\circ}\text{C}$ . Casi no hay movimiento en dirección vertical del aire, pero los vientos horizontales llegan a alcanzar frecuentemente los 200 km/h, lo que facilita el que cualquier sustancia que llega a la estratosfera se difunda por todo el globo con rapidez. En esta parte de la atmósfera, entre los 30 y los 50 kilómetros, se encuentra el ozono.

La **mesósfera** se extiende entre los 50 y 80 km de altura, contiene sólo cerca del 0,1% de la masa total del aire. Es importante por la ionización y las reacciones químicas que ocurren en ella.

La **ionósfera** se extiende desde una altura de casi 80 km sobre la superficie terrestre hasta 640 km o más. Cuando las partículas de la atmósfera experimentan una ionización por radiación ultravioleta, tienden a permanecer ionizadas debido a las mínimas colisiones que se producen entre los iones.

La región que hay más allá de la ionosfera recibe el nombre de **exosfera** y se extiende hasta los 9600 km, lo que constituye el límite exterior de la atmósfera. Más allá se extiende la magnetosfera, espacio situado alrededor de la Tierra en el cual, el campo magnético del planeta domina sobre el campo magnético del medio interplanetario.



**Figura 2.1 Capas de la atmósfera**

## 2.2 Química Atmosférica

Rama de la meteorología que se dedica a estudiar la composición química de la atmósfera y los procesos químicos y fotoquímicos que ocurren en ella. Las reacciones aceleradas por la luz solar en las que se forman contaminantes secundarios (procesos fotoquímicos), y aquellas por las que se forman compuestos que participan en los ciclos biogeoquímicos, son de particular importancia para el estudio de la contaminación atmosférica. (Albert, López, & Flores, 1994)

## 2.3 Amoniaco

El amoniaco es un gas incoloro con olor característico, muy soluble en agua. Sus disoluciones acuosas son alcalinas y tienen un efecto corrosivo frente a metales y tejidos. A pesar de ser clasificado como un gas no inflamable, el amoniaco, puede arder bajo ciertas concentraciones en fase vapor y el riesgo de fuego aumenta en

presencia de materiales combustibles. El gas es más ligero que el aire, sin embargo en fugas, los vapores llenan por completo la parte cercana al suelo.

El amoníaco disuelve a una gran variedad de sales y tiene una gran capacidad para ionizar electrolitos. Los metales alcalinos y los alcalinotérreos (excepto el berilio) se disuelven en él, al igual que el yodo, azufre y fósforo. El amoníaco reacciona con mercurio en presencia de trazas de agua, generando compuestos explosivos. (INSHT, 2005)

El amoníaco fue producido por primera vez en 1890 como subproducto de la fabricación de sulfato de amonio a partir de la combustión de coque con gas. El proceso de *Haber - Bosch* es la reacción a alta presión de nitrógeno e hidrógeno gaseosos para producir amoníaco. La primera instalación comercial de este proceso se hizo en 1913 en BASF, compañía Alemana con una capacidad de diseño de 30 toneladas/día. (LAQMISA, 1994)

El amoníaco es sumamente importante para las plantas, los animales y los seres humanos. Se encuentra en el agua, el suelo y el aire y es una fuente de nitrógeno que necesitan las plantas y los animales. La mayor parte del amoníaco en el ambiente se deriva de la degradación de materia orgánica, descomposición natural del estiércol, orina, así como de las plantas y animales muertos.

Las fuentes primarias de  $\text{NH}_3$  se atribuyen principalmente a actividades biológicas y agrícolas y por lo tanto están localizadas principalmente a nivel superficial terrestre. El  $\text{NH}_3$  gaseoso tiene tiempos de residencia cortos, en consecuencia las concentraciones medidas de la atmósfera presentan gradientes horizontales y verticales muy pronunciados. (Koutrakis, 1998)

Normalmente el amoníaco está presente en el aire en concentraciones que dependen del área de análisis. En zonas urbanas la concentración de amoníaco puede estar entre 5 y 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , (9 a 48 ppb); en áreas rurales la concentración puede ir entre 2 y 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , (3 a 12 ppb). (Roney, 2004)

En el año 2003, durante los meses de enero y febrero, en la Ciudad de México se registraron concentraciones de amoniaco que oscilaron entre los 28.42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 142.12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  siendo éste último un pico durante el muestreo realizado por investigadores del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. (Moya, Grutter, & Báez , 2004)

El amoniaco se utiliza principalmente como fuente de nitrógeno en la generación de fertilizantes; como refrigerante; en la manufactura de ácido nítrico y otros reactivos químicos como ácido sulfúrico, cianuros, amidas, nitritos e intermediarios de colorantes; como fuente de nitrógeno en la producción de monómeros de fibras sintéticas y otros plásticos; como inhibidor de la corrosión en la refinación del petróleo; como estabilizador en la industria hulera y en otras industrias como la del papel, extractiva, alimenticia, peletera y farmacéutica.

#### 2.4 Importancia del amoniaco en la química atmosférica

El amoniaco en la atmósfera tiene un tiempo de vida relativamente corto, va desde unas pocas horas a 5 días, ya que puede ser adsorbido por agua, reaccionar con los gases ácidos ( $\text{NO}_x$  ó  $\text{SO}_x$ ) para producir aerosoles, o en seco depositado localmente para vegetación, el suelo o superficies de agua.

El amoniaco tiene gran importancia en la química atmosférica ya que participa en el ciclo biogeoquímico del nitrógeno. El ecosistema cuenta con la presencia de sustancias que circulan entre los organismos y el medio ambiente, esto es a lo que llamamos ciclos biogeoquímicos, por pasar por los seres vivos (bio), el suelo (geo) y estar sujetos a reacciones químicas con uso y liberación de energía.

El ciclo del nitrógeno sigue una serie de procesos físicos, químicos y biológicos. El nitrógeno está considerado como el elemento más abundante en la atmósfera. Sin

embargo, dada su estabilidad, es muy difícil que reaccione con otros elementos por lo que se tiene un bajo aprovechamiento. (CICEANA, s.f.)

Este es quizá uno de los ciclos más complicados, ya que el nitrógeno se encuentra en varias formas, se llevan a cabo en él una serie de procesos químicos en los que el nitrógeno es tomado del aire y es modificado para finalmente ser devuelto a la atmósfera. En la figura 2.3 se muestra el ciclo del nitrógeno antes mencionado.

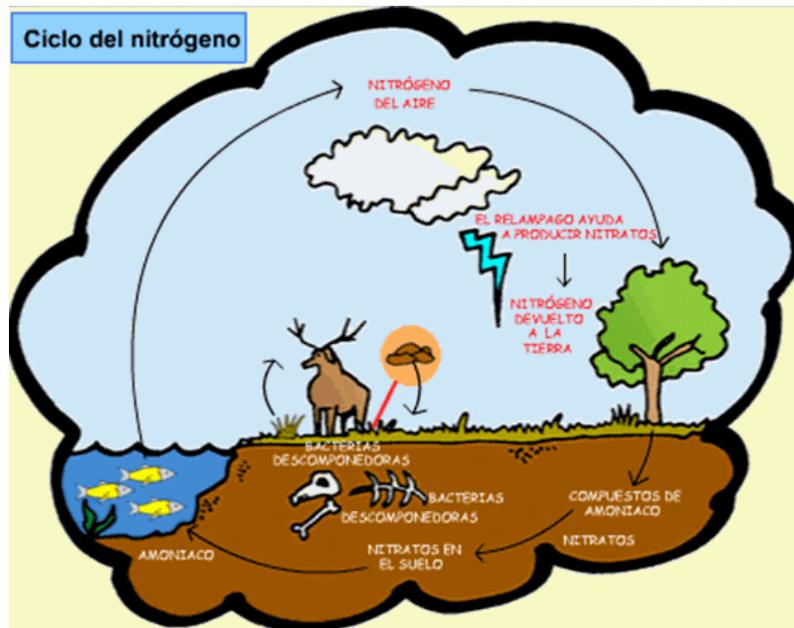


Figura 2.3 Ciclo del nitrógeno

## 2.5 Normatividad

En México no se cuenta con una norma que establezca los límites máximos permisibles de concentración de amoníaco en aire ambiente, actualmente sólo existe para ambientes laborales.

La Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1999 establece las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en medio ambiente laboral.

La norma establece medidas para prevenir daños a la salud de los trabajadores expuestos a las sustancias químicas contaminantes del medio ambiente laboral y

establece los límites máximos permisibles de exposición en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas que por sus propiedades, niveles de concentración y tiempo de exposición, sean capaces de contaminar el medio ambiente laboral o la salud de los trabajadores.

La norma define lo siguiente:

LMPE: Límite máximo permisible de exposición: como es la concentración de un contaminante del medio ambiente laboral, que no debe superarse durante la exposición de los trabajadores en una jornada de trabajo en cualquiera de sus tres tipos. El límite máximo permisible de exposición se expresa en  $\text{mg}/\text{m}^3$  o ppm, bajo condiciones normales de temperatura y presión.

LMPE-CT: Límite máximo permisible de exposición de corto tiempo: es la concentración máxima del contaminante del medio ambiente laboral, a la cual los trabajadores pueden estar expuestos de manera continua durante un periodo máximo de quince minutos, con intervalos de al menos una hora de no exposición entre cada periodo de exposición y un máximo de cuatro exposiciones en una jornada de trabajo y que no sobrepase el LMPE-PPT

LMPE-PPT: Límite máximo permisible de exposición promedio ponderado en tiempo: es la concentración promedio ponderada en tiempo de un contaminante del medio ambiente laboral para una jornada de ocho horas diarias y una semana laboral de cuarenta horas, a la cual se pueden exponer la mayoría de los trabajadores si sufrir daños a la salud.

P: Límite máximo permisible de exposición pico: es la concentración de un contaminante del medio ambiente laboral, que no debe rebasarse en ningún momento durante la exposición del trabajador.

CAS: son las iniciales del nombre en inglés del servicio de información de compuestos químicos de los Estados Unidos de América (Chemical Abstract Service).

En la tabla 2.2 se enlistan los valores establecidos en la NOM-010-STPS-1999 para los límites máximos permisibles antes citadas.

**Tabla 2.2 Límites máximos permisibles de exposición para el caso de amoniac**  
**(NOM-010-STPS-1999)**

No.	Sustancia	No.CAS	LMPE-PPT		LMPE-CT o pico	
			ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
66	Amoniac	7664-41-7	25	18	35	27

Los valores de la tabla 2.2 están calculados para condiciones normales de temperatura y presión, y para una jornada laboral de 8 horas diarias y 40 horas a la semana.

En la tabla 2.3 se muestra la protección respiratoria mínima para la exposición de amoniac en el aire.

**Tabla 2.3 Protección respiratoria mínima para la exposición de amoniaco en el aire.  
(Occupational Safety and Healthy Guideline for Ammonia)**

<b>Condición</b>	<b>Protección Respiratoria Mínima &gt; 5mg/m<sup>3</sup></b>
Concentración de gas de hasta 100 ppm	Cualquier respirador de cartucho químico con cartucho de amoniaco. Cualquier respirador con suministro de aire proveído externamente. Cualquier aparato de respiración.
Concentración de gas de hasta 300 ppm	Un respirador de cartucho químico con pieza facial completa y un cartucho para amoniaco.
Concentración de gas de hasta 500 ppm	Una máscara de gases de tipo mentón o un cilindro para amoniaco frontal o trasero. Cualquier respirador de suministro de aire con pieza facial completa, yelmo o capucha. Cualquier aparato de respiración auto contenido con pieza facial completa.
Concentración de gas mayor a 500 ppm o concentraciones desconocidas.	Aparato de respiración auto contenido con pieza facial completa operado en modo de demanda de presión o algún otro modo de presión positiva. Una combinación de respirador que incluya respirador con pieza facial completa operado en demanda de presión o algún otro modo de presión positiva o de flujo continuo y un aparato auxiliar de respiración auto contenido operado en modo de demanda de presión u otro modo de presión positiva.

(NIOSH, 1992)

A continuación se muestran los valores de los límites máximos permisibles para la exposición de amoníaco según la OSHA (Occupational Safety and Health Administration)

Límites máximos permisibles

TLV: Threshold Limit Value (Valor Límite Umbral).

TLV (TWA; 8 horas; ACGIH): 25 ppm; 17 mg/m<sup>3</sup> (2001)

PEL: Permissible Exposure Limit (Límite Permissible de Exposición).

PEL (TWA; 8 horas; OSHA para la industria general): 50 ppm; 35 mg/m<sup>3</sup>  
(2002)

PEL (TWA; 8 horas; OSHA para la industria de la construcción): 50 ppm; 35 mg/m<sup>3</sup>  
(2002)

IDLH: Immediately Dangerous to Life and Health (Peligroso Inmediatamente para la vida y la Salud).

IDLH (NIOSH): 300 ppm; 200 mg/m<sup>3</sup> (2002)

STEL: Short Time Exposure Limit (Límite de Exposición en Periodos Cortos)

STEL (TWA; 15 minutos; ACGIH): 35 ppm; 24 mg/m<sup>3</sup> (2001).

TWA: Time-Weighted Average

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists

OSHA: Occupational Safety and Health Administration

NIOSH: U.S. National Institute for Occupational Safety and Health

## 2.6 Tipos de muestreo

### 2.6.1 Muestreo Activo

Este tipo de muestreos requieren energía eléctrica para bombear el aire a muestrear a través de un medio de colección físico o químico. El volumen adicional de aire muestreado incrementa la sensibilidad, por lo que pueden obtenerse mediciones diarias promedio. Los muestreadores activos más utilizados actualmente son los burbujeadores.

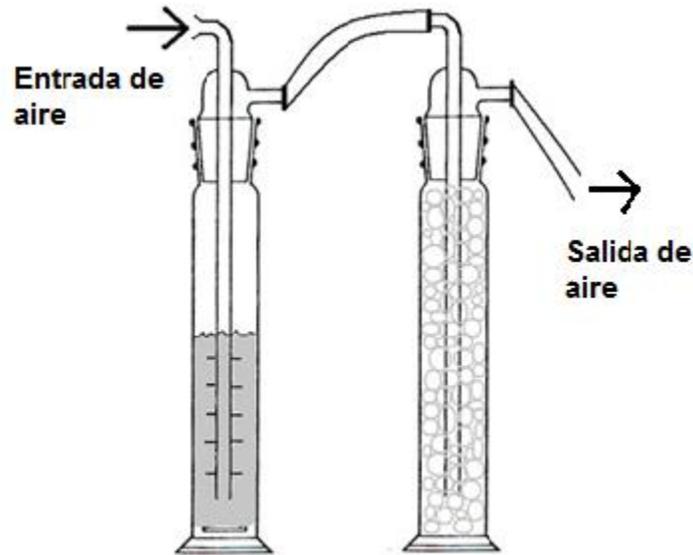
Aunque los muestreadores activos son más caros y complejos que los muestreadores pasivos, son relativamente fáciles de operar, confiables y han proporcionado la base de datos de mediciones en la mayor parte del mundo a lo largo de más de quince años. La continuidad de esta base de datos es muy importante para poder deducir tendencias a largo plazo.

Existen diferentes formas de botellas absorbentes que se pueden agrupar en dos tipos básicos: el de choque o golpe, en el cual la primera corriente de aire muestreado se hace pasar por un tubo de vidrio que tiene un orificio muy fino en un extremo y que está montado en una botella de tal forma que el orificio queda a 5 mm. del fondo plano de la misma, entrando el aire muestreado en la botella que contiene el líquido absorbente a una gran velocidad, debido a que se acelera a su paso por el orificio, chocando con el fondo para dispersarse y mezclarse vigorosamente con el solvente y en el segundo, el burbujeador de gases de vidrio poroso, en el que la corriente de gases se rompe en burbujas muy finas que pasan lentamente a través del solvente, aumentando enormemente la superficie de contacto, lo cual proporciona un mejor nivel de absorción.

Entre estas botellas se destacan como más usadas:

- a) El burbujeador o "impinger".
- b) La Botella de Muenke.
- c) La Botella de Fritten

La figura 2.4 muestra el funcionamiento de un burbujeador o impinger.



**Figura 2.4 Captador activo: burbujeadores**

### 2.6.2 Muestreo Pasivo

El método pasivo de captación de muestras se fundamenta principalmente en los fenómenos de difusión y el de permeación, debido a que se estudian las moléculas de los gases por el constante movimiento y su capacidad de penetración y de difusión a través de otro gas como atravesar una membrana sólida.

Los muestreadores pasivos se definen como: “Un difusor pasivo es un dispositivo capaz de captar muestras de contaminantes de gas o de vapor en 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”. (Berlin, Brown, & Saunders, 1986)

Las principales ventajas del muestreo pasivo son su simplicidad y bajo costo, por lo que se pueden extender muchas unidades para que provean información en cuanto a la distribución espacial de los contaminantes.

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

En el difusor pasivo existe un volumen donde se produce un gradiente de concentración tomado desde el exterior con la superficie de contacto en la parte donde se encuentra el agente absorbente. Este gradiente de concentraciones producido es la fuerza que mueve al contaminante por difusión a través del captador que llega al absorbente.

La figura 2.5 muestra el orden de armado de un captador pasivo.



**Figura 2.5 Captador pasivo**

## 2.7 Espectrofotometría

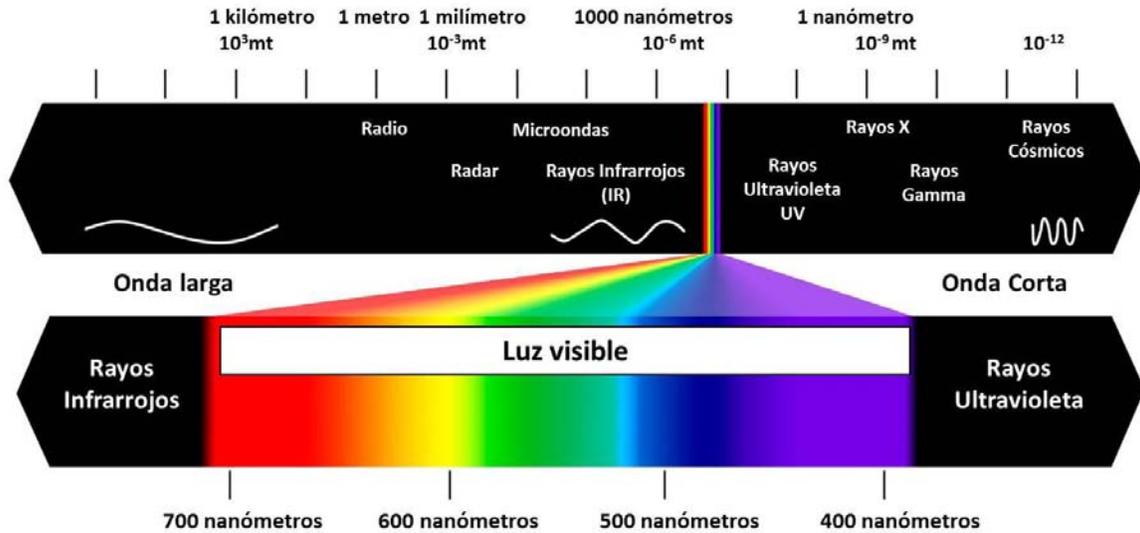
Se le conoce como espectrofotometría a cualquier proceso que utiliza luz para medir concentraciones químicas. (Harris, 2003)

No hay cambios bruscos en las características de la radiación electromagnética entre las diferentes regiones del espectro electromagnético. La luz visible (tipo de radiación electromagnética que somos capaces de ver) representa únicamente una pequeña fracción del espectro electromagnético.

Cuando una molécula absorbe un fotón, la energía de la molécula aumenta pero si la molécula emite un fotón, su energía disminuye. Cuando la luz es absorbida por una muestra, la irradiancia es la energía por segundo por unidad de área del haz de luz. La luz se hace pasar a través de un monocromador para seleccionar la longitud de onda más adecuada. La luz de una longitud de onda es conocida como monocromática que se refiere a “un color”. La luz monocromática golpea a la muestra, la irradiancia del haz emergente del otro lado de la muestra será diferente ya que una porción de la luz original puede ser absorbida por la muestra. La absorbancia es muy importante, ya que es directamente proporcional a la concentración de las especies absorbedoras de luz presentes en la muestra.

En la figura 2.6 se muestra el espectro electromagnético, éste es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles. El espectro de un objeto es la distribución característica de la radiación electromagnética de ese objeto.

El espectro electromagnético se extiende desde las bajas frecuencias usadas para la radio moderna (extremo de la onda larga) hasta los rayos gamma (extremo de la onda corta), que cubren longitudes de onda de entre miles de kilómetros y la fracción del tamaño de un átomo. Se piensa que el límite de la longitud de onda corta está en las cercanías de la longitud Planck, mientras que el límite de la longitud de onda larga es el tamaño del universo mismo, aunque en principio el espectro sea infinito y continuo. (Pérez, 2014)



**Figura 2.6 Espectro electromagnético**

### 2.7.1 Exactitud Espectrofotométrica

La exactitud es la cercanía de una medida a su valor real. La precisión describe la reproducibilidad de los resultados. La linealidad fotométrica se define como la capacidad de un sistema fotométrico para dar una relación lineal entre la potencia radiante incidente a su detector y la lectura.

Exactitud y linealidad se confunden a veces, porque un instrumento con exactitud fotométrica elevada debe también tener buena linealidad fotométrica; sin embargo, exactitud y linealidad no son sinónimos. La linealidad en su forma más simple, se fundamenta en la aditividad de valores de absorbancia empíricos (no absolutos). La exactitud absoluta se fundamenta en la relación existente entre la transmitancia medida y algún cambio absoluto en la potencia radiante del detector. La exactitud se determina, generalmente, midiendo el flujo de energía radiante a través de aperturas calibradas que se encuentran en el rayo o haz de muestra.

Algunos parámetros que afectan la exactitud fotométrica:

- La relación del ancho de banda espectral y el ancho de banda observado de la banda de absorción registrada.

- Un barrido demasiado rápido (de la longitud de onda) es una fuente de error cuando se usan espectrofotómetros de barrido.
- La incertidumbre (poca exactitud) en la longitud de onda.
- La radiación parásita puede ser un problema mayor. En general la radiación parásita llega a ser un verdadero problema en los valores extremos del intervalo espectral de un instrumento, en donde la sensibilidad del fotodetector es baja o cuando la radiación del rayo que alcanza el detector es débil. Las principales fuentes de radiación parásita son la dispersión por el polvo o manchas en las superficies ópticas, las superficies de los espejos, las lentes y las paredes de las celdas; la dispersión por difracción en los extremos de las ventanas, la reflexión en las superficies interiores del monocromador y la dispersión por la rejilla que puede actuar como espejo simple en vez de una superficie difringente ideal.

#### Metodología cuantitativa de la espectrofotometría

El primer paso al desarrollar un método cuantitativo para determinar la concentración desconocida de una especie dada, por espectrofotometría de absorción, es escoger la banda de absorción a la cual se realizarán las mediciones de absorbancia. Se obtiene el espectro de absorción visible o ultravioleta de las especies que se van a determinar ya sea de la literatura o experimentalmente, de preferencia utilizando un espectrofotómetro de barrido de doble haz. Se selecciona una banda de absorción conveniente por medio de una inspección del espectro obtenido. Se supone que la absorptividad de una especie es una constante a cualquier longitud de onda dada y una de sus propiedades características.

La mayoría de los compuestos orgánicos absorben luz fuertemente sin embargo para el caso de los compuestos inorgánicos es sólo un número limitado de iones los que lo hacen. Por lo que es normal que se agregue una especie reactiva a la solución del ión inorgánico para que reaccione con él y durante el proceso provoque un cambio marcado en las características del espectro de absorción del reactivo.

Aunque muy pocas reacciones son específicas para una sustancia en particular, muchas reacciones son muy selectivas, o pueden hacerse selectivas a través de la introducción de agentes enmascarantes, el control de pH, la extracción con disolventes, el ajuste del estado de oxidación, o la remoción previa de interferentes. Tanto el reactivo encargado de desarrollar color como el producto absorbente deben ser estables por un periodo de tiempo razonable. A menudo se necesita especificar que las comparaciones de color deben hacerse dentro de un periodo de tiempo definido y que es siempre aconsejable preparar los estándares y las muestras problema de acuerdo a un programa de tiempo. (Skoog, 2003)

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGÍA

Se realizaron dos muestreos simultáneamente. El muestreo por burbujeadores es un método validado el cual está publicado en “Ambient Air: Inorganic Nitrogen Compounds and Oxidants” mientras que el método de captadores pasivos es un método nuevo, se ha trabajado y ha sido validado para otros contaminantes sin embargo para capturar amoníaco no.

#### 3.1 Método de burbujeadores

##### 3.1.1 Método analítico para burbujeadores

El amoníaco en la atmósfera puede ser colectado al hacer pasar un volumen determinado de aire a través de una solución de ácido sulfúrico para formar sulfato de amonio. (BVSD, s.f.)

El sulfato de amonio formado en la muestra es analizado por colorimetría al hacerlo reaccionar con fenol e hipoclorito de sodio alcalino con el fin de formar indofenol el cual tiene un color azul. Se utiliza nitroprusiato de sodio como catalizador para dicha reacción.

##### 3.1.2 Procedimiento

###### 3.1.2.1 Recolección de la muestra

El equipo que se utilizó para el muestreo fue construido en el siguiente orden: portafiltro, burbujeador 1, burbujeador 2, burbujeador 3, y bomba. El burbujeador blanco se coloca en el soporte junto a los otros tres burbujeadores pero no se conecta con éstos. La bomba cuenta con flujómetro, por lo que no se colocó otro aparte. En la figura 3.1 se muestra el diagrama del sistema utilizado y la figura 3.2 una fotografía del mismo sistema ya conectado.

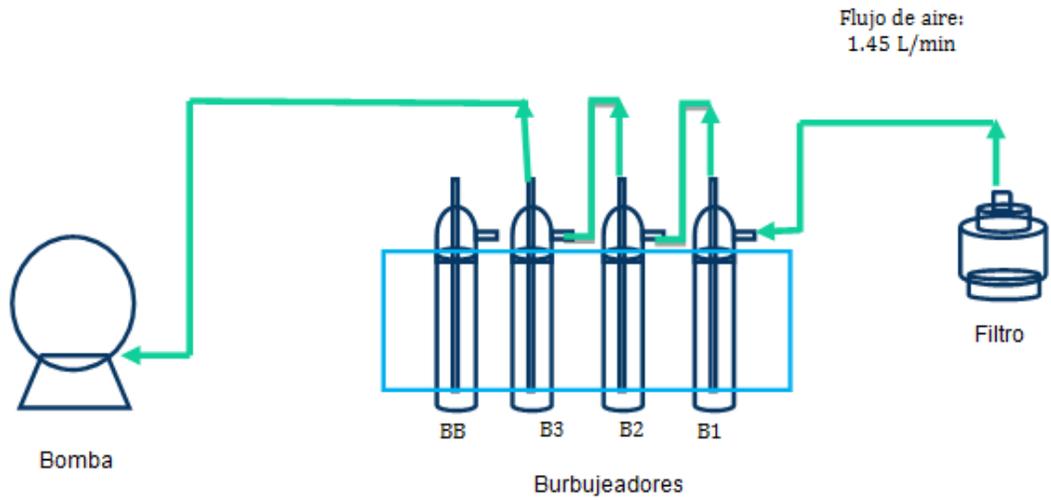


Figura 3.1 Diagrama de muestreo con burbujeadores

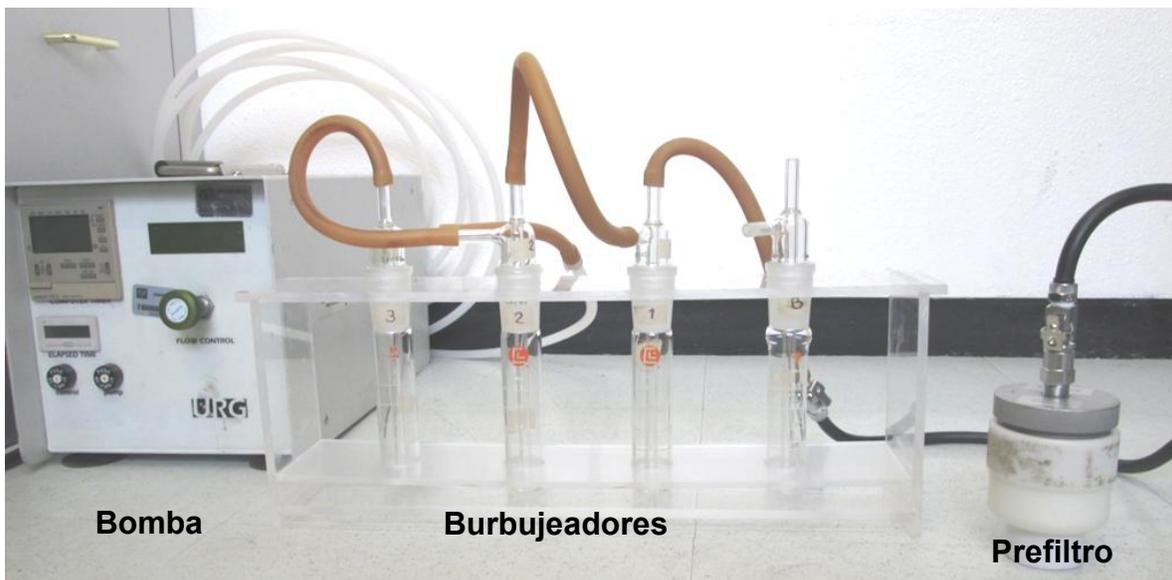


Figura 3.2. Sistema de muestreo de burbujeadores

Se colocaron 10 mL de la solución absorbadora (solución A) en cada burbujeador, el soporte con los cuatro burbujeadores se colocó dentro de una cuba con hielo, para evitar la evaporación por arrastre de vapor. (Ver figura 3.3)



**Figura 3.3 Burbujeadores conectados en serie en cuba con hielo.**

### 3.1.2.2 Periodos de muestreo

El muestreo se realizó del 9 de septiembre al 01 de octubre del 2013 a un flujo de 1.45 L/min, Se colocaron los cuatro burbujeadores por la mañana y se retiraron después de transcurridas 6 horas de muestreo para su análisis. El blanco permaneció intacto durante todo el tiempo de muestreo. El aire se capturaba a través del prefiltro el cual colgaba por la ventana del laboratorio de Cromatografía Líquida del Centro de Ciencias de la Atmósfera. (Ver figura 3.4)



**Figura 3.4 Prefiltro colgando de la ventana.**

### 3.1.2.3 Análisis de muestras obtenidas por método de burbujeadores

Una vez terminado las 6 horas de muestreo, se preparó la muestra para ser analizada de la siguiente manera:

Se adicionaron 2 mL de la solución buffer, 5mL de la solución Fenol (Solución de trabajo), se agitó y llenó hasta 22 mL, se agregaron 2.5 mL de la solución de hipoclorito de sodio (Solución de trabajo) y se agitó rápidamente. Se diluyó con agua desionizada hasta 25 mL, se mezcló y tapó de la luz por un periodo 30 minutos para revelar el color. Una vez transcurrido el tiempo se midió la absorbancia de cada muestra a una longitud de onda de 630 nm.

El blanco se trata igual que las otras tres muestras. (Lodge, 1998)

En la figura 3.5 se observan las muestras preparadas de los cuatro burbujeadores después del análisis espectrofotométrico para el día 10 de septiembre de 2013.



**Figura 3.5 Muestras de burbujeadores después del análisis del 10 de septiembre de 2013**

### 3.1.3. Interferencias en el muestreo

Los resultados de este método se pueden ver afectados debido a las siguientes interferencias:

- a) Compuestos de amoníaco en partículas suspendidas pueden ser registrados en la determinación de no ser removidas con un prefiltro.
- b) La presencia de iones de hierro, cromo y manganeso en pequeñas cantidades (mg) causan interferencia positiva en la técnica de análisis, ya que precipitan.
- c) Los iones de cobre causan interferencia negativa, ya que inhiben la revelación de color.
- d) Basado en pruebas el formaldehído causa interferencia negativa de 10 a 15%.

e) Si hay presencia de partículas que causen interferencia, éstas pueden ser removidas al filtrar la muestra de aire. (Lodge, 1998)

### 3.2 Método captadores pasivos

#### 3.2.1 Método analítico para captadores pasivos

Los captadores pasivos son muy utilizados para hacer muestreos en zonas rurales o de escasos recursos debido a que no requieren el uso de electricidad y son fáciles de transportar y colocar. Sin embargo es necesario colocarlos completamente horizontales, esto con ayuda del soporte, para que el contaminante se capture adecuadamente.

Los captadores pasivos actúan en función de su geometría, su capacidad de captación se puede calcular a partir del coeficiente de difusión, el área del filtro y la longitud del portafiltro al filtro.

Se determinó el coeficiente de difusión, para amoníaco con la ecuación 3.1 empírica parametrizada obtenida de la EPA, Environmental Protection Agency. (EPA, s.f.):

$$D_{NH_3} = \frac{0.001T^{1.75} Mr^{1/2}}{(P \left[ Va^{\frac{1}{3}} + Ve^{\frac{1}{3}} \right]^2)} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Dónde:

$D_{NH_3}$  = coeficiente de difusión en  $\text{cm}^2/\text{seg}$

T = temperatura en K

Va = volumen molar del aire, aproximadamente  $20.1 \text{ cm}^3/\text{mol}^3$

Ve = volumen molar de LeBass del componente de interés

P = presión en atm

Mr está en función del peso molecular y puede ser calculada con la ecuación 3.2

$$Mr = \frac{Ma+Mb}{MaMb} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Dónde:

$M_a$  = peso molecular del aire, el cual es aproximadamente 28.97 g/mol

$M_b$  = peso molecular del componente de interés.

Así mismo se determinó el coeficiente de captación para amoniaco ( $S_{NH_3}$ ), el cual depende del coeficiente de difusión y de las dimensiones del captador pasivo a utilizar. Utilizando la ecuación 3.3 se determinó este valor

$$S_{NH_3} = \frac{D_{NH_3}A_f}{L} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Dónde:

$S_{NH_3}$  = coeficiente de captación en  $\text{cm}^3/\text{seg}$

$D_{NH_3}$  = coeficiente de difusión en  $\text{cm}^2/\text{seg}$

$A_f$  = área del filtro

$L$  = longitud del captador pasivo.

Los coeficientes calculados tienen los siguientes valores:

$$D_{NH_3} = 4.5 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$S_{NH_3} = 55.42 \text{ cm}^3/\text{s}$$

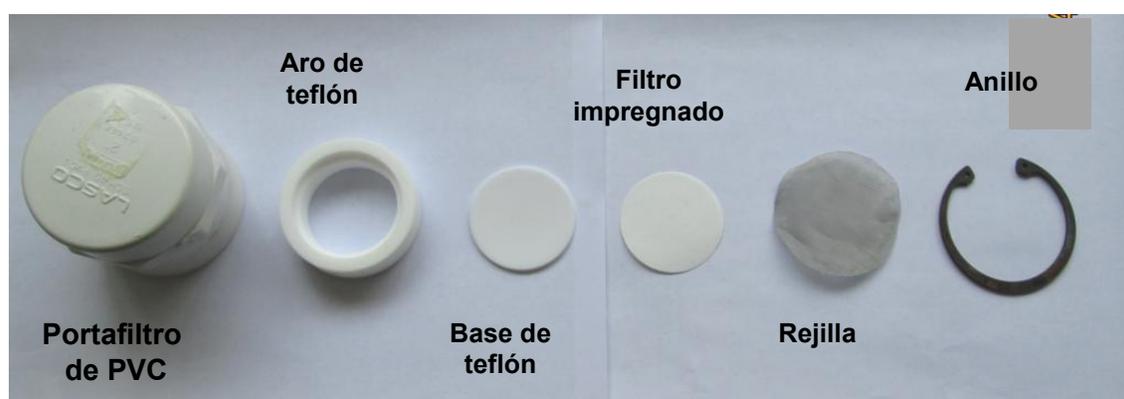
### 3.2.2 Procedimiento

#### 3.2.2.1 Recolección de la muestra

Para colocar los filtros en los captadores, se debe asegurar una atmósfera libre de contaminantes para lo cual se utiliza una cámara de aire cero. Previo al muestreo todos los componentes de los captadores (filtros, mallas, anillos, almohadilla de

teflón y base de PVC) deben ser lavados cuidadosamente, enjuagados con agua desionizada y sonicados. Para armar los captadores dentro de la cámara de aire cero cada uno de los elementos es sumergido en ácido cítrico 5% y posteriormente en agua desionizada. Los filtros fueron impregnados con una solución de ácido cítrico al 5% antes de armar los captadores.

Los captadores pasivos se arman en el siguiente orden: portafiltro de PVC, aro de teflón, base de teflón, filtro impregnado, rejilla y anillo. (Ver figura 3.6)



**Figura 3.6 Configuración de armado de captador pasivo.**

### 3.2.2.2 Periodo de muestreo

Se colocaron dos muestreadores pasivos en la ventana del Laboratorio de Cromatografía Líquida del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM con el fin de recolectar amoníaco durante 6 horas por día. La figura 3.7 muestra los captadores pasivos sostenidos por el soporte colocado en la ventana.



**Figura 3.7 Captadores pasivos colocados en la ventana.**

Los muestreos se realizaron del 9 de septiembre al 01 de octubre de 2013.

### 3.2.2.3 Análisis de muestras obtenidas por muestreo pasivo

Una vez transcurrido el tiempo de muestreo, se retiraron los filtros de los portafiltros, en la cámara de aire cero. Los dos filtros del muestreo y un blanco, por separado, se sonicaron en 20 mL de agua desionizada durante 15 minutos. Posteriormente se tomaron 10 mL de la solución sonicada, se pasaron a un matraz haciéndolos pasar por un acrodisco para evitar partículas del filtro.

Para revelar el color de la muestra, ésta se preparó de la siguiente manera:

Se añadieron 50  $\mu\text{L}$  de la solución de sulfato manganoso, 500  $\mu\text{L}$  de la solución de ácido hipocloroso y 600  $\mu\text{L}$  de la solución de Fenol a la muestra de 10.00mL en un matraz aforado y se agitó

Posteriormente se midió la absorbancia a una longitud de onda de 620nm. En la figura 3.8 se observan las muestras preparadas de los tres captadores pasivos después del análisis espectrofotométrico para el día 10 de septiembre de 2013.



**Figura 3.8 Muestras de pasivos después del análisis del día 10 de septiembre de 2013**

### 3.2.3. Interferencias en el muestreo

Los captadores pasivos son muy sensibles. Los resultados pueden verse afectados en presencia de lluvia o alta humedad. Es necesario que los captadores pasivos estén perfectamente horizontales para que la difusión se lleve a cabo. El lavado de filtros y acrodiscos es importante ya que en ocasiones, éstos pueden estar contaminados. (Carmichael, 2003)

## Capítulo 4

### RESULTADOS

El muestreo se realizó del 9 de septiembre al 1 de octubre del 2013. Después de leer la absorbancia se calculó la concentración en solución, mediante la correlación obtenida con las curvas de calibración indicadas en los Anexos A.3 y A.7, se determinó la concentración de amoníaco en aire y la masa de  $\text{NH}_3$  capturada.

#### 4.1 Método de Burbujeadores

En la tabla 4.1 se muestran los resultados de la concentración de amoníaco en aire y la masa de amoníaco capturada, calculados a partir de la absorbancia medida para cada captador por día de muestreo para los burbujeadores. En el Anexo A.4 se muestra un ejemplo de cómo se realizó el cálculo de éstos.

**Tabla 4.1 Resultados del muestreo por método de burbujeadores**

Fecha	Burbujeador	Absorbancia	Concentración en líquido ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	Masa $\text{NH}_3$ capturada ( $\mu\text{g}$ )	Concentración en aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
09-sep-13	B1	0.2731	0.694	16.39	31.39
	B2	0.0625	0.018	0.42	0.81
	B3	0.0660	0.029	0.69	1.32
	Bbco	0.0575	0.002	0.05	0.09
10-sep-13	B1	0.3697	1.004	23.71	45.42
	B2	0.1606	0.333	7.86	15.06
	B3	0.1440	0.280	6.60	12.65
	Bbco	0.1383	0.261	6.17	11.82
11-sep-13	B1	0.3148	0.828	19.55	37.45
	B2	0.0840	0.087	2.05	3.94
	B3	0.0831	0.084	1.99	3.80
	Bbco	0.0772	0.065	1.54	2.95
12-sep-13	B1	0.1501	0.299	7.06	13.53
	B2	0.0713	0.046	1.09	2.09
	B3	0.0545	-0.008	-0.18	-0.34
	Bbco	0.0590	0.007	0.16	0.31

13-sep-13	B1	0.1203	0.203	4.80	9.20
	B2	0.0753	0.059	1.40	2.68
	B3	0.0613	0.014	0.33	0.63
	Bbco	0.0614	0.014	0.34	0.65
18-sep-13	B1	0.3730	1.015	23.96	45.90
	B2	0.0784	0.069	1.63	3.12
	B3	0.0773	0.065	1.54	2.96
	Bbco	0.0564	-0.002	-0.04	-0.08
19-sep-13	B1	0.2300	0.556	13.12	25.14
	B2	0.0819	0.080	1.90	3.64
	B3	0.0746	0.057	1.34	2.57
	Bbco	0.0666	0.031	0.74	1.41
20-sep-13	B1	0.1519	0.305	7.20	13.79
	B2	0.0709	0.045	1.06	2.03
	B3	0.0662	0.030	0.70	1.35
	Bbco	0.0706	0.044	1.04	1.99
23-sep-13	B1	0.2746	0.699	16.50	31.61
	B2	0.1189	0.199	4.70	9.00
	B3	0.0948	0.122	2.87	5.50
	Bbco	0.0703	0.043	1.02	1.95
24-sep-13	B1	0.2066	0.481	11.35	21.74
	B2	0.0875	0.098	2.32	4.44
	B3	0.0836	0.086	2.02	3.88
	Bbco	0.0607	0.012	0.29	0.55
25-sep-13	B1	0.1426	0.275	6.49	12.44
	B2	0.0854	0.091	2.16	4.14
	B3	0.0740	0.055	1.30	2.48
	Bbco	0.0804	0.076	1.78	3.42
26-sep-13	B1	0.1181	0.197	4.64	8.89
	B2	0.0827	0.083	1.96	3.75
	B3	0.0727	0.051	1.20	2.30
	Bbco	0.0715	0.047	1.11	2.12
27-sep-13	B1	0.3149	0.828	19.55	37.46
	B2	0.1782	0.390	9.20	17.62
	B3	0.1591	0.328	7.74	14.84
	Bbco	0.1189	0.199	4.70	9.00
30-sep-13	B1	0.5162	1.474	34.81	66.69
	B2	0.3822	1.044	24.66	47.24
	B3	0.2429	0.597	14.10	27.01
	Bbco	0.1349	0.251	5.91	11.33

01-oct-13	B1	0.2104	0.493	11.64	22.289
	B2	0.0721	0.049	1.15	2.202
	B3	0.0677	0.035	0.82	1.563
	Bbco	0.0605	0.012	0.27	0.523

#### 4.2 Método Captadores pasivos

En tabla 4.2 se muestran los resultados de la concentración de amoniaco en aire y la masa de amoniaco capturada, calculados a partir de la absorbancia medida para cada equipo por día de muestreo en los monitores pasivos. En el Anexo A.8 se muestra un ejemplo de cómo se realizó el cálculo de éstos.

**Tabla 4.2 Resultados del muestro por el método de captadores pasivos.**

Fecha	Pasivo	Absorbancia	Abs - bco	Concentración en líquido (µg/mL)	Masa NH <sub>3</sub> capturada (µg)	Concentración en aire (µg/m <sup>3</sup> )
09-sep-13	Pa	0.1815	0.0083	1.73	32.59	358.99
	Pb	0.1750	0.0018	1.66	31.38	345.59
	Pbco	0.1732				
10-sep-13	Pa	0.1474	0.0971	2.61	49.22	542.16
	Pb	0.1322	0.0819	2.45	46.37	510.70
	Pbco	0.0503				
11-sep-13	Pa	0.1838	0.1364	3.00	56.58	623.22
	Pb	0.1762	0.1289	2.92	55.17	607.63
	Pbco	0.0473				
12-sep-13	Pa	0.1200	0.0676	2.31	43.70	481.30
	Pb	0.1186	0.0662	2.30	43.42	478.30
	Pbco	0.0524				
13-sep-13	Pa	0.0781	0.0275	1.92	36.19	398.65
	Pb	0.2104	0.1599	3.23	60.97	671.56
	Pbco	0.0506				
18-sep-13	Pa	0.2128	0.1070	2.70	51.06	562.42
	Pb	0.1559	0.0500	2.14	40.40	444.95
	Pbco	0.1059				
19-sep-13	Pa	0.0930	0.0151	1.79	33.86	372.91
	Pb	0.0982	0.0203	1.84	34.85	383.83
	Pbco	0.0779				

20-sep-13	Pa	0.2392	0.1654	3.28	62.01	682.97
	Pb	0.1250	0.0512	2.15	40.62	447.43
	Pbco	0.0738				
23-sep-13	Pa	0.1035	0.0343	1.98	37.46	412.58
	Pb	0.1787	0.1095	2.73	51.54	567.70
	Pbco	0.0692				
24-sep-13	Pa	0.1459	0.0809	2.44	46.18	508.61
	Pb	0.1014	0.0364	2.00	37.86	416.99
	Pbco	0.0650				
25-sep-13	Pa	0.1149	0.0265	1.91	36.01	396.62
	Pb	0.1242	0.0359	2.00	37.76	415.89
	Pbco	0.0883				
26-sep-13	Pa	0.1668	0.0175	1.82	34.31	377.87
	Pb	0.1342	-0.0151	1.49	28.21	310.67
	Pbco	0.1493				
27-sep-13	Pa	0.1934	0.1224	2.86	53.96	594.37
	Pb	0.1017	0.0308	1.95	36.80	405.35
	Pbco	0.0710				
30-sep-13	Pa	0.0805	0.0000	1.64	31.04	341.91
	Pb	0.1536	0.0731	2.37	44.73	492.71
	Pbco	0.0804				
01-oct-13	Pa	0.1881	0.1054	2.69	50.77	559.27
	Pb	0.0946	0.0119	1.76	33.27	366.45
	Pbco	0.0827				

#### 4.3 Masa de amoniaco capturada ( $\mu\text{g}$ )

Como se observa en la tabla 4.3 los resultados de masa de amoniaco capturada obtenidos para ambos muestreo son valores del mismo orden. La masa capturada por los burbujeadores va de 5.85 a 63.90  $\mu\text{g}$  de  $\text{NH}_3$  mientras que los valores de la masa capturada por los captadores pasivos se encuentran dentro de un rango que va de 28.21 a 62.01  $\mu\text{g}$  de  $\text{NH}_3$ .

**Tabla 4.3 Comparación de la masa de NH<sub>3</sub> capturada por ambos métodos**

Día de muestreo	Masa NH <sub>3</sub> capturada (µg)		
	Burbujeadores	Pasivo a	Pasivo b
Día 1	16.49	32.59	31.38
Día 2	30.22	49.22	46.37
Día 3	20.82	56.58	55.17
Día 4	7.38	43.70	43.42
Día 5	5.85	36.19	60.97
Día 6	25.66	51.06	40.40
Día 7	14.76	33.86	34.85
Día 8	7.49	62.01	40.62
Día 9	21.77	37.46	51.54
Día 10	14.55	46.18	37.86
Día 11	7.71	36.01	37.76
Día 12	6.32	34.31	28.21
Día 13	30.03	53.96	36.80
Día 14	63.90	31.04	44.73
Día 15	12.59	50.77	33.27

La tabla 4.3 muestra que no hay un comportamiento similar entre los resultados de ambas técnicas; es decir, el día que se capturó la mayor masa de amoníaco con los burbujeadores no corresponde a los días que se capturó la mayor masa con los captadores pasivos, incluso los días en los que se capturó la mayor masa con los captadores pasivos **a** y **b** no corresponden entre ellos. Lo mismo sucede con los días que se capturó la menor masa de amoníaco.

Por otro lado, en la tabla 4.3 se observa que para el día 5 de muestreo corresponde la menor masa de amoníaco capturada con burbujeadores; 5.85 µg, sin embargo para el captador pasivo **b** corresponde la mayor masa capturada; 62.01 µg siendo esta última 90.56% más que la masa capturada por los burbujeadores para ese día. Para el día 14 de muestreo la masa capturada por los burbujeadores es 51.42% mayor a la masa capturada por el pasivo **a**, siendo 63.9 µg la mayor masa capturada por los burbujeadores y 31.04 µg la menor masa capturada por los captadores pasivos.

La tabla 4.4 muestra los resultados de la concentración de amoniaco en aire calculada, a partir de los datos obtenidos de ambos muestreos, por cada captador para cada día de muestreo.

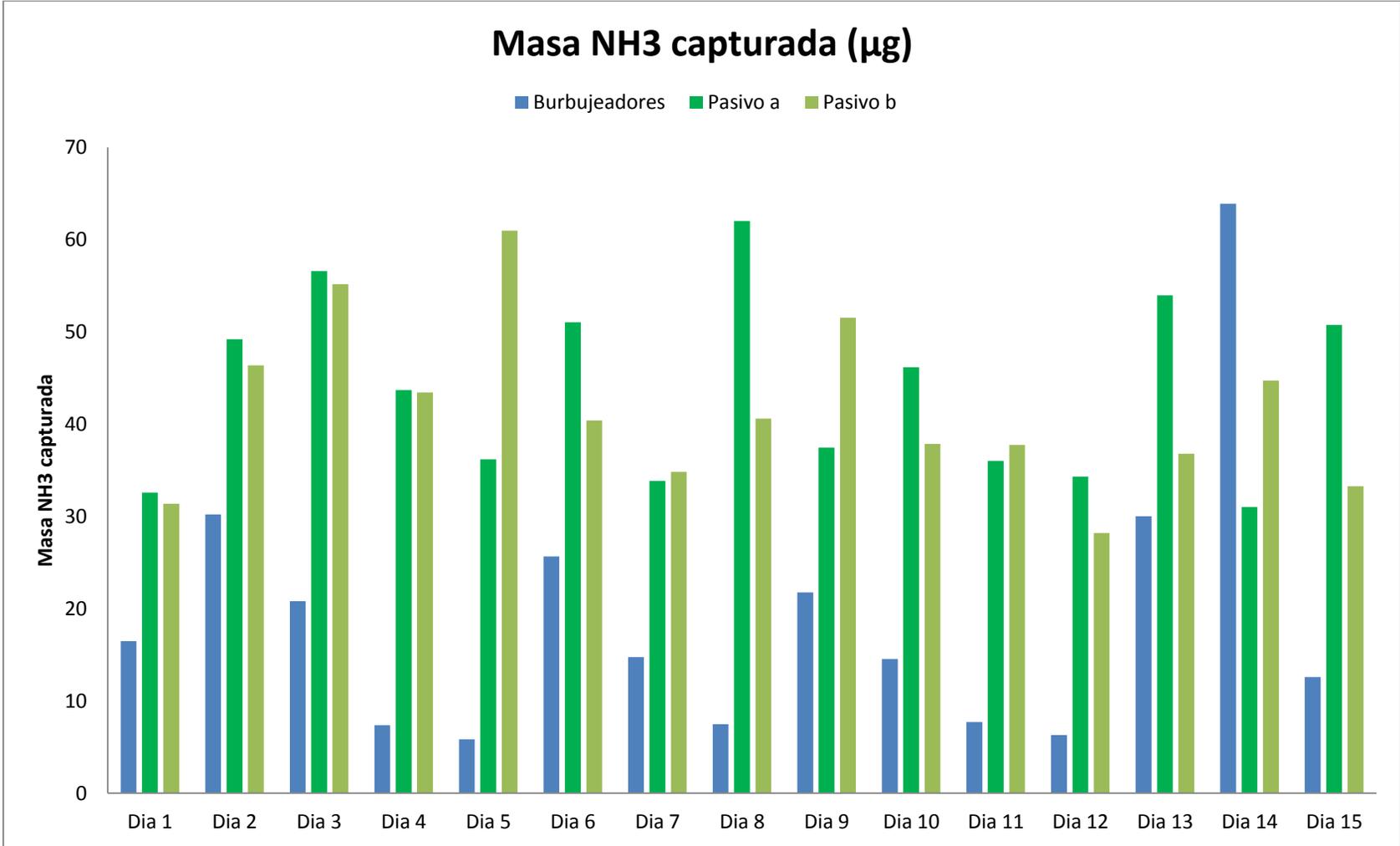
**Tabla 4.4 Comparación de la concentración de NH<sub>3</sub> en aire para ambos métodos.**

Día de muestreo	Concentración de NH <sub>3</sub> en aire (µg/m <sup>3</sup> )		
	Burbujeadores	Pasivo a	Pasivo b
Día 1	33.44	358.99	345.59
Día 2	61.31	542.16	510.70
Día 3	42.24	623.22	607.63
Día 4	14.97	481.30	478.30
Día 5	11.86	398.65	671.56
Día 6	52.05	562.42	444.95
Día 7	29.93	372.91	383.83
Día 8	15.18	682.97	447.43
Día 9	44.17	412.58	567.70
Día 10	29.51	508.61	416.99
Día 11	15.64	396.62	415.89
Día 12	12.81	377.87	310.67
Día 13	60.91	594.37	405.35
Día 14	129.62	341.91	492.71
Día 15	25.53	559.27	366.45

El comportamiento de la concentración y la relación que se tiene entre los métodos es similar al comportamiento que se obtuvo con resultados de masa capturada, ya que la concentración en aire se calculó en base a los resultados de masa.

En la gráfica 4.1 se muestran los resultados de masa obtenida de amoniaco para cada día de muestreo. Así mismo se compara la masa capturada de amoniaco, por los diferentes métodos de muestreo, para cada día de muestreo.

Tanto en la gráfica 4.1 como en la tabla 4.3 se observa que para los días 1, 2, 3, 4, 7 y 11 de muestreo los resultados de masa capturada entre los pasivos **a** y **b** son casi iguales.



Gráfica 4.1 Comparación de la Masa NH3 capturada

#### 4.5 Meteorología

En la Ciudad de México, la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) a través del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) y su Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET) proporcionan información de los parámetros meteorológicos para elaborar el pronóstico meteorológico y modelos de dispersión.

A continuación se muestra el resumen meteorológico para los meses de septiembre y octubre del 2013 los cuales se obtuvieron de la base de datos del Sistema de Monitoreo Atmosférico para la estación de monitoreo del Centro de Ciencias de la Atmósfera.

## Resumen meteorológico:

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for SEP. 2013												
NAME: cca CITY: Mexico D.F. STATE: cca												
ELEV: 2280 m LAT: 19° 19' 59" N LONG: 99° 10' 59" W												
TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (m/s)												
DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	18.2	25.7	5:30p	13.1	2:30a	1.9	1.8	7.1	1.3	8.5	7:30p	N
2	17.2	22.4	2:00p	13.4	10:30p	1.8	0.7	13.0	1.3	8.5	6:00p	WNW
3	15.3	19.4	2:00p	13.6	7:00a	3.1	0.0	6.1	0.6	6.3	3:00p	N
4	16.2	21.3	3:30p	13.4	1:30a	2.6	0.5	12.4	1.1	6.7	6:00p	WNW
5	16.6	22.5	2:30p	14.0	11:00p	2.3	0.6	11.7	1.3	8.9	4:00p	WNW
6	16.4	23.1	3:00p	14.4	7:30p	2.5	0.6	9.7	0.9	10.3	4:00p	SSE
7	16.2	19.1	5:00p	14.4	5:30a	2.2	0.0	2.0	0.5	4.9	7:30p	NW
8	15.4	18.9	12:00p	14.0	10:00p	2.9	0.0	21.3	0.4	5.4	5:00p	NW
9	15.6	21.8	1:00p	12.3	6:30a	3.0	0.3	4.3	0.5	7.6	2:00p	SSW
10	17.7	23.6	3:00p	13.8	7:00a	1.7	1.1	1.5	0.9	9.4	6:00p	WNW
11	18.0	23.1	4:30p	14.9	6:00a	1.2	0.9	0.3	2.2	10.3	6:00p	WNW
12	17.6	21.8	5:00p	15.0	7:00a	1.1	0.5	0.0	1.7	8.9	1:00p	WNW
13	15.9	18.8	3:30p	14.3	7:00a	2.4	0.0	3.3	1.4	9.8	3:30p	WNW
14	15.9	18.6	2:00p	14.3	12:30a	2.4	0.0	3.8	0.3	3.1	4:30p	ENE
15	15.9	18.8	4:30p	14.3	7:30a	2.4	0.0	2.3	1.4	9.4	4:00p	E
16	15.7	17.7	12:30p	13.9	12:00m	2.6	0.0	4.6	0.3	3.1	12:30a	E
17	17.1	24.4	3:30p	11.4	6:30a	2.6	1.4	1.8	0.6	8.5	6:00p	SSW
18	17.4	23.0	2:30p	15.0	2:30a	1.4	0.4	1.5	0.9	11.2	3:30p	NW
19	18.9	25.9	4:30p	15.3	6:30a	1.2	1.8	1.0	1.1	10.3	7:30p	NNW
20	18.7	24.4	2:00p	15.1	7:00a	1.2	1.5	10.7	1.1	7.6	2:30p	E
21	17.8	24.8	3:30p	14.8	7:30a	1.7	1.2	30.2	0.8	12.5	5:30p	N
22	18.5	23.2	3:30p	14.6	7:30a	1.1	1.4	9.9	1.3	6.3	3:30p	N
23	19.5	25.3	2:30p	15.2	8:00a	0.8	2.0	5.3	1.0	8.0	6:30p	ENE
24	18.0	24.4	3:00p	15.1	4:00p	1.3	1.0	6.9	1.3	12.5	3:30p	WNW
25	17.8	23.6	3:30p	14.7	5:30a	1.5	1.0	11.2	1.3	5.8	8:30p	WNW
26	16.7	20.4	2:00p	14.7	5:00a	1.8	0.2	5.3	1.7	8.0	1:30p	ENE
27	19.1	24.9	3:00p	12.3	6:30a	1.2	2.0	0.0	1.5	9.8	12:00p	SE
28	18.4	25.9	2:30p	12.5	6:30a	1.9	2.0	4.6	1.0	7.2	8:00p	SE
29	18.2	25.9	4:30p	12.7	5:30a	1.7	1.5	0.0	1.1	11.2	5:00p	SW
30	19.2	25.7	3:00p	13.7	6:00a	1.2	2.1	0.0	1.1	6.7	6:30p	NW
-----												
	17.3	25.9	19	11.4	17	56.6	26.9	191.8	1.1	12.5	21	WNW
-----												
Max >= 32.0:	0											
Max <= 0.0:	0											
Min <= 0.0:	0											
Min <= -18.0:	0											
Max Rain:	30.23 ON 21/09/13											
Days of Rain:	> .2 mm) 26 (> 2 mm) 21 (> 20 mm) 2											
Heat Base:	18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration											

Figura 4.1 Resumen meteorológico de Septiembre 2013

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for OCT. 2013

NAME: cca CITY: Mexico D.F. STATE: cca  
 ELEV: 2280 m LAT: 19° 19' 59" N LONG: 99° 10' 59" W

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (m/s)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	19.0	25.2	5:30p	12.9	6:30a	1.3	2.0	0.0	1.0	5.4	11:00a	N
2	18.9	25.6	3:30p	11.9	7:00a	1.6	2.2	0.0	1.3	8.0	3:30p	N
3	18.8	25.2	3:00p	12.9	6:00a	1.5	2.1	0.0	1.4	8.0	7:00p	N
4	18.9	26.3	3:30p	12.0	7:30a	1.7	2.3	0.0	0.8	6.3	4:30p	WSW
5	18.7	26.4	2:00p	12.3	7:00a	1.8	2.3	4.3	1.2	13.0	8:30p	WSW
6	17.7	25.8	3:00p	12.2	7:30a	2.0	1.4	1.5	1.1	9.4	3:30p	W
7	16.6	18.9	1:00p	14.4	11:00p	1.7	0.0	0.0	2.1	8.0	2:00p	NW
8	16.9	22.7	5:30p	13.6	6:00a	2.3	0.9	18.5	1.3	8.9	8:30p	N
9	17.6	23.4	3:30p	13.1	6:30a	2.0	1.2	2.0	0.8	10.7	7:00p	SW
10	18.3	23.5	1:30p	14.0	7:30a	1.4	1.4	0.5	0.7	10.3	6:30p	WSW
11	19.2	25.8	3:00p	14.5	6:30a	1.0	1.8	0.0	1.0	6.3	1:00p	E
12	19.1	24.4	5:30p	14.4	5:00a	1.0	1.9	0.0	1.0	7.2	4:00p	W
13	18.4	25.2	4:30p	13.1	7:00a	1.6	1.8	0.0	1.5	9.4	10:00p	WNW
14	18.4	25.4	5:00p	13.4	4:00a	1.6	1.8	0.0	1.3	7.6	1:30p	NW
15	18.1	24.4	5:00p	11.7	6:00a	1.9	1.7	0.0	0.8	5.8	2:00p	N
16	18.7	26.1	4:00p	12.3	7:00a	1.7	2.1	0.0	0.7	5.8	6:00p	ESE
17	18.8	25.3	3:00p	12.6	7:00a	1.4	1.8	0.0	1.0	9.4	8:00p	WNW
18	17.7	24.2	4:00p	12.9	6:00a	2.0	1.4	13.2	0.9	8.0	7:30p	W
19	15.7	23.6	2:30p	12.1	5:30a	3.4	0.8	36.3	0.9	9.8	5:30p	SW
20	15.9	19.8	1:30p	12.8	5:30a	2.6	0.2	0.5	0.3	4.9	3:30p	ENE
21	17.1	21.5	4:30p	13.3	6:30a	1.9	0.7	0.0	0.8	6.3	3:30p	E
22	14.8	18.2	2:30p	11.8	12:00m	3.5	0.0	19.0	0.8	6.7	3:00p	NW
23	12.8	14.9	2:30p	11.6	12:00m	5.5	0.0	1.0	0.5	4.9	2:30p	NW
24	13.7	17.9	5:30p	11.3	6:00a	4.6	0.0	0.0	0.4	4.9	5:00p	NW
25	14.2	22.2	3:30p	6.9	7:30a	4.4	0.5	0.0	0.9	7.6	4:30p	NW
26	15.8	20.6	3:30p	12.7	5:30a	2.7	0.2	0.0	1.2	6.7	5:00p	NW
27	16.9	23.2	2:30p	13.4	3:00a	2.2	0.8	2.3	0.8	6.7	4:00p	N
28	18.3	25.0	3:00p	13.6	1:30a	1.6	1.6	0.0	0.6	7.6	7:00p	WNW
29	18.7	25.9	3:00p	14.6	2:30a	1.4	1.7	0.0	0.7	8.5	7:30p	NNW
30	19.2	24.4	1:00p	15.6	12:00m	1.0	1.9	0.8	1.1	10.3	1:30p	ESE
31	18.7	24.1	1:30p	13.4	6:30a	1.2	1.7	3.0	0.6	5.8	7:00p	NW
	17.5	26.4	5	6.9	25	65.6	40.3	103.1	0.9	13.0	5	NW

Max >= 32.0: 0  
 Max <= 0.0: 0  
 Min <= 0.0: 0  
 Min <= -18.0: 0  
 Max Rain: 36.32 ON 19/10/13  
 Days of Rain: 13 (> .2 mm) 8 (> 2 mm) 1 (> 20 mm)

Figura 4.2 Resumen meteorológico de octubre 2013

En la tabla 4.5 se muestran los resultados de masa de  $\text{NH}_3$  total capturada y la concentración de  $\text{NH}_3$  en aire por cada captador así como la meteorología para cada día de muestreo. Los datos mostrados de meteorología son el promedio de los datos obtenidos por hora durante las seis horas de muestreo para cada día. Los datos se obtuvieron de la base de datos de la Red de Meteorología y Radiación Solar.

Los resultados resaltados en color amarillo son los datos de mayor masa capturada, concentración en aire, temperatura y humedad promedio; los resultados resaltados en color verde son los datos de menor masa capturada, concentración en aire, temperatura y humedad promedio, para cada tipo de captadores durante todo el muestreo.

En la tabla 4.5 se puede apreciar la influencia meteorológica en el sistema de captadores pasivos, el día que se presenta mayor humedad relativa promedio (día 5) se determinó la mayor concentración de  $\text{NH}_3$  en el aire y en el caso del sistema de burbujeadores se encontró la menor masa. Esto puede significar que la influencia de la humedad relativa es relevante ya que al humedecerse el filtro impregnado de ácido cítrico actúa como receptor de otras especies gaseosas contaminantes que contengan nitrógeno. Esto puede influir para una sobre estimación de la concentración de amoníaco en la atmósfera. En el caso contrario en los burbujeadores la influencia de la humedad relativa no es importante ya que siendo un medio acuoso donde se captura el amoníaco no existe un cambio en el funcionamiento del método.

El día 14 de muestreo se presenta una concentración de amoníaco alta en el sistema de burbujeadores, pero se debe hacer notar que el blanco de muestreo también presenta una concentración base de amoníaco alta. Por lo tanto se considera que existió un error aleatorio en el método por lo que no puede ser determinada su causa.

Tabla 4.5 Resultados de muestreo y meteorología

Día de muestreo	Resultados de muestreo						Meteorología (Durante el tiempo de muestreo)			
	Masa NH <sub>3</sub> µg			Concentración de NH <sub>3</sub> en aire (µg/m <sup>3</sup> )			Temp. Promedio	Temp. Máxima	Temp. Mínima	Humedad relativa Promedio
Burbujeadores	Pasivo a	Pasivo b	Burbujeadores	Pasivo a	Pasivo b					
Día 1	16.49	32.59	31.38	33.44	358.99	345.59	19.02	19.49	18.42	74.92
Día 2	30.22	49.22	46.37	61.31	542.16	510.70	20.48	20.53	19.85	65.69
Día 3	20.82	56.58	55.17	42.24	623.22	607.63	18.94	18.98	18.46	69.62
Día 4	7.38	43.70	43.42	14.97	481.30	478.30	19.15	19.28	18.66	64.15
Día 5	<b>5.85</b>	36.19	<b>60.97</b>	<b>11.86</b>	398.65	<b>671.56</b>	<b>16.60</b>	16.77	16.12	<b>83.46</b>
Día 6	25.66	51.06	40.40	52.05	562.42	444.95	19.83	19.96	19.3	68.69
Día 7	14.76	33.86	34.85	29.93	372.91	383.83	20.88	20.98	20.17	64.31
Día 8	7.49	<b>62.01</b>	40.62	15.18	<b>682.97</b>	447.43	21.27	21.49	20.55	63.92
Día 9	21.77	37.46	51.54	44.17	412.58	567.70	<b>22.59</b>	22.72	21.82	60.08
Día 10	14.55	46.18	37.86	29.51	508.61	416.99	21.94	22.08	21.28	62.92
Día 11	7.71	36.01	37.76	15.64	396.62	415.89	19.42	19.47	18.81	65.85
Día 12	6.32	34.31	<b>28.21</b>	12.81	377.87	<b>310.67</b>	18.48	18.56	18.08	76.23
Día 13	30.03	53.96	36.80	60.91	594.37	405.35	21.95	22.02	21.34	50.46
Día 14	<b>63.90</b>	<b>31.04</b>	44.73	<b>129.62</b>	<b>341.91</b>	492.71	21.68	21.77	20.92	50.31
Día 15	12.59	50.77	33.27	25.53	559.27	366.45	21.54	21.66	20.87	<b>48.38</b>

En la tabla 4.6 se muestra la relación que existe entre la masa de amoniaco capturada por los burbujeadores y la meteorología promedio de las horas de muestreo para cada día en los que se llevó a cabo. El día 5 de muestreo representa un dato importante, ya que, corresponde a la menor masa de amoniaco capturada por los burbujeadores la cual coincide con el día en el que la temperatura promedio fue la más baja y la humedad promedio fue la más alta; 16.60 °C y 83.46 % respectivamente.

**Tabla 4.6 Resultados de burbujeadores y meteorología**

Día de muestreo	Masa NH <sub>3</sub> capturada por Burbujeadores (µg)	Temperatura Promedio	Humedad Promedio
Día 1	16.49	19.02	74.92
Día 2	30.22	20.48	65.69
Día 3	20.82	18.94	69.62
Día 4	7.38	19.15	64.15
Día 5	<b>5.85</b>	<b>16.60</b>	<b>83.46</b>
Día 6	25.66	19.83	68.69
Día 7	14.76	20.88	64.31
Día 8	7.49	21.27	63.92
Día 9	21.77	<b>22.59</b>	60.08
Día 10	14.55	21.94	62.92
Día 11	7.71	19.42	65.85
Día 12	6.32	18.48	76.23
Día 13	30.03	21.95	50.46
Día 14	<b>63.90</b>	21.68	50.31
Día 15	12.59	21.54	<b>48.38</b>

En el caso de los burbujeadores se conoce que el flujo es 1.45 L/min por lo que se sabe que en un minuto de muestreo pasan 1.45 L de aire por los burbujeadores. Sin embargo en el caso de los captadores pasivos es necesario usar el coeficiente

de captación para conocer el flujo de aire que pasa a través de éstos. De la ecuación 3.3 se obtuvo el valor del coeficiente de captación  $S_{NH_3}$  con valor de  $55.42 \text{ cm}^3/\text{s}$ . A continuación se muestra la conversión de este coeficiente a unidades de L/min.

$$S_{NH_3} = 55.42_{\text{cm}^3/\text{s}} = 55.42_{\text{mL}/\text{s}} \times 60_{\text{s}} = 3325.2_{\text{mL}/\text{min}} \times \frac{1_{\text{L}}}{1000_{\text{mL}}} = 3.33_{\text{L}/\text{min}}$$

De aquí se obtiene que en un minuto de muestreo pasivo pasan 3.33L de aire a través de los captadores pasivos. Es evidente que el flujo aire muestreado con burbujeadores es menor al aire muestreado con los captadores pasivos, por lo que se esperaría que los captadores pasivos recolectaran mayores cantidades de amoniaco.

Al hacer una relación de flujos se ve que el flujo de aire que se hace pasar por los burbujeadores es menor a la mitad de de aire que pasa por los captadores pasivos por lo que la masa capturada en los burbujeadores debería ser 0.44 veces menor a la masa capturada por los captadores pasivos.

Relación de flujos:

$$\frac{\text{Flujo Burbujeadores}}{\text{Flujo C. pasivos}} = \frac{1.45_{\text{L}/\text{min}}}{3.33_{\text{L}/\text{min}}} = 0.44$$

Volviendo a la tabla 4.3, se observa que la masa capturada por los captadores pasivos efectivamente es mayor a la masa capturada por los burbujeadores, sin embargo esta relación de flujos sólo se observa en los días 1, 7 y 9 de muestreo, éste último sólo se observa en el captador pasivo b. Para el día 14 de muestreo se obtuvo una masa capturada por burbujeadores mayor a la capturada por los pasivos, siendo éste el único caso, se puede atribuir a un defecto de muestreo.

**Tabla 4.3 Comparación de la masa de NH<sub>3</sub> capturada por ambos métodos**

Día de muestreo	Masa NH <sub>3</sub> capturada (µg)		
	Burbujeadores	Pasivo a	Pasivo b
Día 1	16.49	32.59	31.38
Día 2	30.22	49.22	46.37
Día 3	20.82	56.58	55.17
Día 4	7.38	43.70	43.42
Día 5	5.85	36.19	60.97
Día 6	25.66	51.06	40.40
Día 7	14.76	33.86	34.85
Día 8	7.49	62.01	40.62
Día 9	21.77	37.46	51.54
Día 10	14.55	46.18	37.86
Día 11	7.71	36.01	37.76
Día 12	6.32	34.31	28.21
Día 13	30.03	53.96	36.80
Día 14	63.90	31.04	44.73
Día 15	12.59	50.77	33.27

En las tablas y gráficas de este capítulo se puede apreciar que los sistemas de captación pasiva dan como resultado una concentración mayor al sistema de referencia como los burbujeadores. La humedad relativa como se mencionó antes es de suma importancia para una buena determinación del amoníaco en monitores pasivos.

De acuerdo al estudio realizado en 2003 en la Ciudad de México se registró una concentración de amoníaco en un rango de 28.42 µg/m<sup>3</sup> y 142.12 µg/m<sup>3</sup> (Moya, Grutter, & Báez , 2004), en este trabajo se determinó una concentración de amoníaco en un rango de 11.86 µg/m<sup>3</sup> a 129.62 µg/m<sup>3</sup> con el método de burbujeadores y de 310.67 µg/m<sup>3</sup> a 682.97 µg/m<sup>3</sup> con el método de pasivos, con lo que corroboramos una vez más que el método de burbujeadores es un método confiable.

Para el objetivo de este trabajo no es relevante conocer las fuentes de emisión del amoníaco, ya que no se está evaluando el comportamiento de éste, sino que se están comparando los resultados obtenidos a partir de los dos diferentes métodos.

CONCLUSIONES

- Los resultados del método de burbujeadores son adecuados y congruentes los cuales corresponden con la meteorología de los días que se muestreó.
- El método de burbujeadores es impráctico para ser utilizado en campañas de monitoreo en zonas rurales y es económicamente menos accesible.
- El método pasivo tiene una sobre estimación de concentración de amoníaco alrededor de 100 veces mayor que el método de burbujeadores en la mayoría de los días de muestreo.
- Los resultados de masa para ambos métodos de muestreos oscilan en valores del mismo orden de magnitud.
- El método de captadores pasivos no es confiable en su totalidad para el muestreo de amoníaco.
- Los monitores pasivos pueden presentar defectos de muestreo debido a la humedad y turbulencia del viento que no permiten una eficiencia de captura adecuada.
- Es necesario realizar mejoras en la eficiencia de los captadores pasivos para sustituir el método de burbujeadores.

REFERENCIAS

Albert, L., López, M., & Flores, J. (1994). *Diccionario de la contaminación*. México D.F.: Centro de Ecología y Desarrollo.

Berlin, A., Brown, R., & Saunders, K. (1986). Diffusive Sampling An Alternative Approach to Workplace Air Monitoring. *First International Symposium on Diffusive Sampling*. Londres: Royal Society of Chemistry.

*BVSD, Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental*. (s.f.). Obtenido de Revisión de Metodologías Existentes: <http://www.bvsde.paho.org/sde/ops-sde/bv-saludurbana.shtml>

Carmichael, G. R. (2003). *Measurements of sulfur dioxide, ozone and ammonia concentrations in Asia, Africa, and South America using passive samplers*. Iowa, USA: Elsevier Science Ltd.

CICEANA. (s.f.). *Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América A.C. (CICEANA)*. Recuperado el 18 de Octubre de 2013, de <http://www.ciceana.org.mx/recursos/ciclo%20del%20nitrogeno.pdf>

*EPA, United States Environmental Protection Agency*. (n.d.). Retrieved 2013 July 22 from <http://www.epa.gov/athens/learn2model/part-two/onsite/estdiffusion.html>

Harris, D. C. (2003). *Quantitative Chemical Analysis*. Estados Unidos de América: W.H. Freeman and Company.

Koutrakis, P. (1998). *Informe final: análisis químico de material particulado orgánico en la región Metropolitana de Santiago*. Boston: Universidad de Harvard.

LAQMISA. (1994). *Estudio para la elaboración de la norma oficial mexicana que regule los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de amoniaco*

(NH<sub>3</sub>) en la fabricación del mismo. Ciudad de México: Ecología, Instituto Nacional de.

Lodge, J. P. (1998). *Ambient Air: Inorganic Nitrogen Compounds and Oxidants*. Boca Ratón: CRC Press.

*miniambiente.gov.co*. (s.f.).

Morales, R. G. (2006). *Contaminación Atmosférica Urbana: Episodios Críticos de Contaminación en la Ciudad de Santiago*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, SA.

Moya, M., Grutter, M., & Báez, A. (2004). *Diurnal variability of size-differentiated inorganic aerosols and their gas-phase precursors during January and February of 2003 near downtown Mexico City*. Mexico City: Elsevier Science Ltd.

NIOSH, U. D. (1992). *Occupational Safety and Health Guideline for Ammonia*. Occupational Safety and Health Administration.

Pérez, G. (Febrero de 2014). *Espectrometria.com*. Recuperado el octubre de 2014, de [http://www.espectrometria.com/espectro\\_electromagnetico](http://www.espectrometria.com/espectro_electromagnetico)

Roney, N. (2004). *Toxicological Profile for Ammonia*. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

Skoog, W. H. (2003). *Química Analítica*. Ciudad de México: McGraw Hill.

Warren, L., & Rosenbaltt, D. (1990). *Handbook of chemical property estimation methods: Environmental behavior of organic compounds*. Washington, DC : McGraw-Hill.

# ANEXO

## A.1. Equipo y reactivos para el método de burbujeadores

### Equipo

- Bomba de vacío. URG
- Botella de polietileno. Nalgene 1L.
- Burbujeadores. Cristalab 24/40. 25 mL.
- Espectrofotómetro. GBC, Cintra 101.
- Filtro. Matricel membrana. 47mm, 0.8µm poro.
- Matraces volumétricos clase A. 10mL, 50mL, 100mL, 250mL, 1L.
- Portafiltro de PVC

### Reactivos

- Ácido sulfúrico.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  [18M] 99.2% grado reactivo, J.T. Baker.
- Cloroformo  $\text{CHCl}_3$  99.99% grado reactivo, J.T.Baker
- Cloruro de amonio  $\text{NH}_4\text{Cl}$  >99.5% grado reactivo, Meyer.
- Fenol  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  >99.99% ultrapuro grado MB, USB.
- Fosfato trisódico  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  98.4% grado reactivo, J.T. Baker.
- Hidróxido de sodio.  $\text{NaOH}$  >97% grado reactivo, Labessa.
- Hipoclorito de sodio.  $\text{NaClO}$  5% grado reactivo, Hycel.
- Metanol  $\text{CH}_3\text{OH}$  99.9% grado reactive, J.T.Baker.
- Nitroprusiato de sodio >99% grado reactivo, Labessa.

## A.2. Preparación de soluciones para el método de burbujeadores

- a) Solución absorbidora  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1N

Diluir 3mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (18M) en 1L de  $\text{H}_2\text{O}$ . \*La solución dura hasta dos meses en refrigeración.

b) Solución Nitroprusiato de Sodio

Disolver 2g de nitroprusiato de sodio en 100mL de  $\text{H}_2\text{O}$ . \*La solución dura hasta dos meses en refrigeración.

c) Hidróxido de Sodio (6.75M)

Disolver 270g de NaOH en 1L de  $\text{H}_2\text{O}$  desionizada. Evaporar 400mL (para volatilizar  $\text{NH}_3$ ). Enfriar y aforar a 1L. \*Guardar en botella de polietileno.

d) Solución Hipoclorito de Sodio.

Diluir 74mL de NaClO al 5% en  $\text{H}_2\text{O}$  desionizada y aforar a 100 mL para conseguir una solución [0.1N] (3.7%). \*La solución dura hasta dos meses en refrigeración.

e) Solución Fenol (45% v/v)

Derretir 50 g de fenol en baño maría a  $60^\circ\text{C}$  en un matraz de 100 mL, llenar con metanol hasta la marca. \*La solución dura hasta dos meses en refrigeración.

f) Solución Buffer

Disolver 12.5 g de  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  y 18.5 mL de NaOH [6.75M] en 250 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  desionizada.

g) Solución Hipoclorito de Sodio (Solución de trabajo)

Mezclar 7.5 mL de NaClO [0.1N] y 7.5 mL NaOH [6.75M]. Diluir hasta 25 mL con  $\text{H}_2\text{O}$  desionizada. \*Preparar diario.

h) Solución Fenol (Solución de trabajo)

Mezclar 10 mL de solución Fenol (45%v/v) y 0.5 mL de la solución de nitroprusiato de Sodio (2%). Diluir hasta 50 mL con H<sub>2</sub>O desionizada. \*Preparar cada cuatro horas.

### A.3. Curva de calibración para el método de burbujeadores

Para conocer la concentración de amoniaco capturado se necesita una curva de calibración con alto coeficiente de correlación, por lo que se realizaron cinco soluciones estándar, con concentraciones de amoniaco conocidas, se trataron como muestras y se leyó la absorbancia de cada una. Para la preparación de las soluciones estándar se prepararon las siguientes soluciones:

El valor del coeficiente de correlación que se obtiene de la curva de calibración para burbujeadores es de 0.9836. A pesar de ser un valor relativamente bajo para coeficiente de correlación, se utilizó ya que el fin del trabajo es una comparación y no una validación.

a) Solución Amoniaco (Solución de reserva) **ASS**

Disolver 3.18g de NH<sub>4</sub>Cl en 1L de H<sub>2</sub>O desionizada. Agregar 1 gota de CHCl<sub>3</sub> como conservador. \*La solución es estable hasta 2 meses.

b) Solución Amoniaco (Solución de trabajo) **SA**

Diluir 1 mL de ASS en 10 mL de la solución absorbadora (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1N). \*Preparar diario.

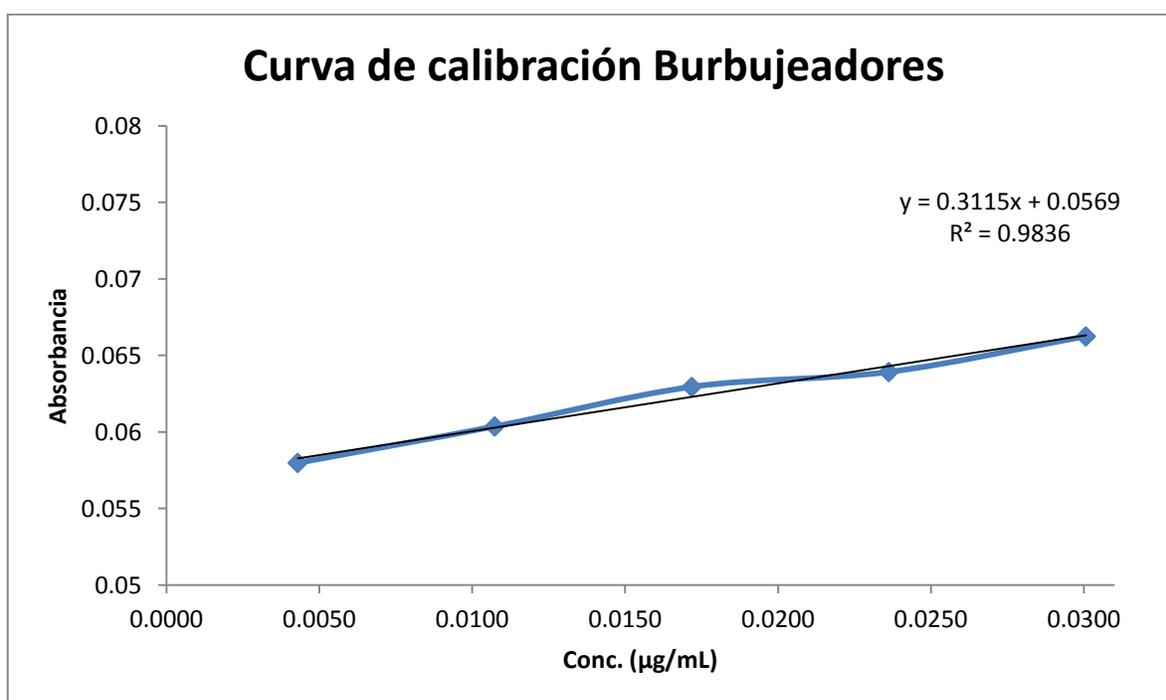
c) Soluciones estándar. **STD**

Se prepararon cinco soluciones estándar tomando el volumen de la solución de amoniaco (SA) indicado en la siguiente tabla para cada solución y aforando a 10 mL con agua desionizada.

En la tabla 3.1 se muestran los resultados de absorbancia para curva de calibración de burbujeadores del día 07 de agosto de 2013.

**Tabla 3.1 Datos para curva de calibración de burbujeadores**

STD	Vol. SA (mL)	Conc. (µg/mL)	Absorbancia
D1	1	0.0043	0.0579
D2	2.5	0.0107	0.0603
D3	4	0.0172	0.0629
D4	5.5	0.0236	0.0639
D5	7	0.0301	0.0662
Coef de correlación			0.9836



**Gráfica 3.1. Curva de calibración para burbujeadores**

#### A.4. Memoria de cálculo burbujeadores

##### A.4.1 Memoria de cálculo para curva de calibración del método de burbujeadores.

###### A.4.1.1 Solución Madre:

Solución 1.

Se diluyeron 0.0318 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  al 99.5% en 10 mL de  $\text{H}_2\text{O}$

El peso molecular del  $\text{NH}_4\text{Cl}$  es 53  $\text{g/mol}$  del cual:

$$\text{N} = 14 \text{ g/mol}$$

$$\text{H} = 4 \text{ g/mol}$$

$$\text{Cl} = 35 \text{ g/mol}$$

Debido a que se cuantifica el ión amonio únicamente, se obtiene el porcentaje de este ión.

$$\% \text{NH}_4^+ = \frac{18 \text{ g/mol}}{58 \text{ g/mol}} \times 100 = 33.96\% \text{ NH}_4^+$$

De los 0.0318 g que se adicionaron sólo el 33.96% es ión amonio por lo tanto la masa real utilizada del ión es:

$$M_{\text{NH}_4^+} = \frac{(0.0318 \text{ g}) \times (33.96\%)}{100\%} = 0.01079 \text{ g NH}_4^+$$

El reactivo utilizado tiene una pureza de 99.5% por lo tanto:

$$M_{\text{NH}_4^+} = \frac{(0.01079 \text{ g}) \times (99.5)}{100} = 0.01074 \text{ g NH}_4^+$$

Y se diluyó en 10 mL de agua

$$\frac{0.01074 \text{ g } NH_4^+}{10 \text{ mL}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 1.074_{\text{mg } NH_4^+/\text{mL}}$$

Solución 2.

Se diluyó 1 mL de la solución 1 en 100 mL de H<sub>2</sub>O

$$\frac{1.074_{\text{mg/mL}} NH_4Cl}{100 \text{ mL}} = 0.01074 \text{ mg } NH_4^+$$

Solución 3.

Se diluyó 1 mL de la solución 2 en 10 mL de H<sub>2</sub>O

$$\frac{0.01074_{\text{mg/mL}} NH_4^+}{10 \text{ mL}} = 0.001074 \text{ mg } NH_4^+$$

A.4.1.2 Solución de trabajo

Se diluyó 1 mL de la Solución Madre (solución 3) en 10 mL de ácido sulfúrico [0.1 N]

$$\frac{0.001074_{\text{mg/mL}} NH_4^+}{10 \text{ mL } H_2SO_4} = 0.0001074 \text{ mg } NH_4^+$$

$$\frac{0.0001074 \text{ mg } NH_4^+}{\text{mL}} \times \frac{1000 \mu\text{g}}{1 \text{ mg}} = 0.1074_{\mu\text{g/mL}} NH_4^+$$

A.4.1.3. Soluciones Estándar

Se prepararon 5 soluciones que trabajaron como soluciones estándar para realizar la curva de calibración. Se tomaron cinco diferentes volúmenes (1, 2.5, 4, 5.5, 7 mL) de la solución de trabajo. El volumen total de la muestra a analizar contenida

en el burbujeador es de 25 mL por lo que el volumen de concentración conocida se divide entre éste último.

$$Conc_{STD} = \frac{(Vol. soluci\ n\ est\ ndar) \times (Conc. soluci\ n\ est\ ndar)}{Volumen\ total}$$

Solución 1.

$$Conc_{STD1} = \frac{1\ mL\ ST}{25\ mL\ tot} \times (0.1074_{\mu g/mL} NH_4^+) = 0.004296_{\mu g/mL} NH_4^+$$

Solución 2

$$Conc_{STD2} = \frac{2.5\ mL\ ST}{25\ mL\ tot} \times (0.1074_{\mu g/mL} NH_4^+) = 0.01074_{\mu g/mL} NH_4^+$$

Solución 3

$$Conc_{STD3} = \frac{4\ mL\ ST}{25\ mL\ tot} \times (0.1074_{\mu g/mL} NH_4^+) = 0.017184_{\mu g/mL} NH_4^+$$

Solución 4

$$Conc_{STD4} = \frac{5.5\ mL\ ST}{25\ mL\ tot} \times (0.1074_{\mu g/mL} NH_4^+) = 0.023628_{\mu g/mL} NH_4^+$$

Solución 5

$$Conc_{STD5} = \frac{7\ mL\ ST}{25\ mL\ tot} \times (0.1074_{\mu g/mL} NH_4^+) = 0.030072_{\mu g/mL} NH_4^+$$

De la curva de calibración se obtuvo la ecuación que relaciona la absorbancia con la concentración, para este caso la ecuación es la siguiente:

$$y = 0.3115x + 0.0569$$

Donde la y representa el valor de la absorbancia mientras la x corresponde a la concentración en líquido de amoníaco. Por lo que la ecuación de concentración en líquido de amoníaco resulta de la siguiente manera:

$$Conc = \frac{Abs - 0.0569}{0.3115}$$

Con esta ecuación se trabajó para obtener la masa capturada así como la concentración en aire de amoníaco.

#### A.4.2. Cálculo de concentración y masa de amoníaco capturada.

A continuación se muestra un ejemplo de cómo se calculó la masa capturada de amoníaco para el día 10 de septiembre de 2013.

Valores de absorbancia para los cuatro burbujeadores para el día 10 de septiembre de 2013

<b>Burbujeador</b>	<b>Absorbancia</b>
B1	0.3697
B2	0.1606
B3	0.1440
BB	0.1383

##### A.4.2.1 Concentración de amoníaco en líquido

Burbujeador 1

$$Conc_{B1} = \frac{0.3697 - 0.0569}{0.3115} = 1.004_{\mu g/mL}$$

Burbujeador 2

$$Conc_{B2} = \frac{0.1606 - 0.0569}{0.3115} = 0.333_{\mu g/mL}$$

Burbujeador 3

$$Conc_{B3} = \frac{0.1440 - 0.0569}{0.3115} = 0.280_{\mu g/mL}$$

Burbujeador Blanco

$$Conc_{BB} = \frac{0.1383 - 0.0569}{0.3115} = 0.261_{\mu g/mL}$$

#### A.4.2.2. Masa de amonio

Burbujeador 1

$$M_{B1} = 1.004_{\mu gNH_4^+/mL} \times 25 \text{ mL} \times \left( \frac{17_{\mu gNH_3/mol}}{18_{\mu gNH_4^+/mol}} \right) = 23.71_{\mu g NH_3}$$

Burbujeador 2

$$M_{B2} = 0.333_{\mu gNH_4^+/mL} \times 25 \text{ mL} \times \left( \frac{17_{\mu gNH_3/mol}}{18_{\mu gNH_4^+/mol}} \right) = 7.86_{\mu g NH_3}$$

Burbujeador 3

$$M_{B3} = 0.280_{\mu\text{gNH}_4^+/\text{mL}} \times 25 \text{ mL} \times \left( \frac{17_{\mu\text{gNH}_3/\text{mol}}}{18_{\mu\text{gNH}_4^+/\text{mol}}} \right) = 6.60_{\mu\text{g}} \text{ NH}_3$$

Burbujeador Blanco

$$M_{BB} = 0.261_{\mu\text{gNH}_4^+/\text{mL}} \times 25 \text{ mL} \times \left( \frac{17_{\mu\text{gNH}_3/\text{mol}}}{18_{\mu\text{gNH}_4^+/\text{mol}}} \right) = 6.17_{\mu\text{g}} \text{ NH}_3$$

A.4.2.3 Volumen de aire

$$\text{Flujo} = 1.45_{\text{L}/\text{min}}$$

$$\text{Tiempo} = 6 \text{ h} = 360 \text{ min}$$

$$\text{Volumen} = \text{Flujo} \times \text{Tiempo}$$

$$V = \left( 1.45_{\text{L}/\text{min}} \right) \times (360_{\text{min}}) \times \left( \frac{1_{\text{m}^3}}{1000_{\text{L}}} \right) = 0.522_{\text{m}^3}$$

A.4.2.4. Concentración de amoníaco en aire

$$C = \frac{\text{Masa capturada}}{\text{Volumen de aire}}$$

Burbujeador 1

$$C_{B1} = \frac{(23.71_{\mu\text{gNH}_3})}{0.522_{\text{m}^3}} = 45.42_{\mu\text{gNH}_3/\text{m}^3}$$

Burbujeador 2

$$C_{B2} = \frac{(7.86_{\mu\text{gNH}_3})}{0.522_{\text{m}^3}} = 15.06_{\mu\text{gNH}_3/\text{m}^3}$$

Burbujeador 3

$$C_{B3} = \frac{(6.60_{\mu\text{gNH}_3})}{0.522_{\text{m}^3}} = 12.65_{\mu\text{gNH}_3/\text{m}^3}$$

Burbujeador Blanco

$$C_{BB} = \frac{(6.17_{\mu\text{gNH}_3})}{0.522_{\text{m}^3}} = 11.82_{\mu\text{gNH}_3/\text{m}^3}$$

A.4.2.5. Masa total capturada

$$MasaTotal_{NH_3} = (B1 + B2 + B3) - BB$$

$$Masa\ Total_{NH_3} = (23.71_{\mu\text{g}} + 7.86_{\mu\text{g}} + 6.60_{\mu\text{g}}) - 6.17_{\mu\text{g}} = 30.22_{\mu\text{g}NH_3}$$

Así es como obtenemos el valor de la masa de amoníaco capturada para el día 10 de septiembre del 2013, cuyo valor es de  $30.22_{\mu\text{g}/\text{m}^3}$ . Este cálculo se hizo exactamente igual para los resultados obtenidos durante todo el muestreo.

#### A.5. Equipo y reactivos para el método pasivo

- Acrodiscos HCR-PALL, 25mm, 0.45µm de poro.
- Espectrofotómetro. GBC, Cintra 101.
- Jeringa 10 mL
- pH metro. Conductronic, PC18.
- Portafiltro de PVC
- Sonificador. Fisher Scientific, FS30H.

#### Reactivos

- Agua desionizada. Tipo I MilliQ.
- Cloruro de amonio  $\text{NH}_4\text{Cl}$  >99.5% grado reactivo, Meyer.
- Fenol  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  99.90% grado reactivo, J.T.Baker.
- Hidróxido de sodio  $\text{NaOH}$  >97% grado reactivo, Labessa.
- Hipoclorito de sodio  $\text{NaClO}$  5% grado reactivo, Hycel.
- Sulfato manganoso  $\text{MnSO}_4$  99.82% grado reactivo, J.T.Baker.

#### A.6. Preparación de soluciones para el método pasivo

- a) Solución de ácido hipocloroso: 5 mL de hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) al 5% y 5mL de agua desionizada, se ajusta el pH a 6.5 - 7.0. \*La solución se prepara antes de la determinación ya que es inestable.
- b) Solución de sulfato manganoso ( $\text{MnSO}_4$ ): pesar 0.05 mg de  $\text{MnSO}_4$  y aforar a 100 mL.
- c) Solución de sal de fenol: Disuélvase 0.25 g de hidróxido de Sodio ( $\text{NaOH}$ ) y 1 g de fenol ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) y aforar a 10 mL con agua desionizada. \*La solución se prepara antes de la determinación ya que oscurece con el tiempo.

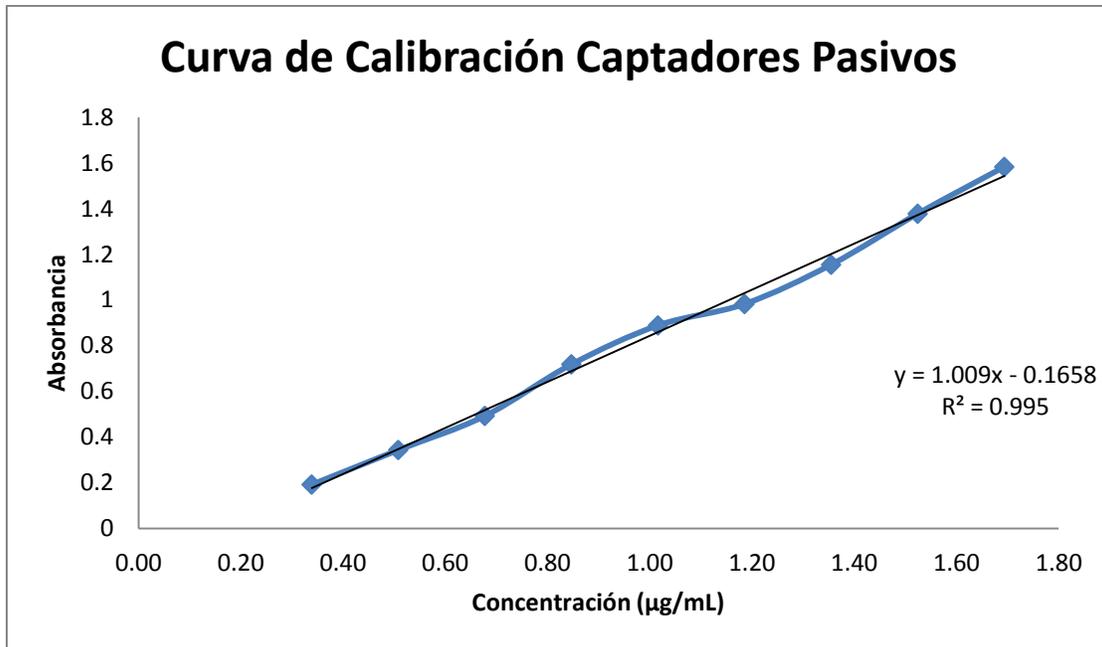
#### A.7. Curva de calibración para el método pasivo

Al igual que para el muestreo activo con burbujeadores, se realizó una curva de calibración para el método pasivo. Se prepararon nueve soluciones estándar tomando el volumen de la solución madre indicado en la siguiente tabla y se aforó a 10 mL. Y se trataron como muestra para la lectura de su absorbancia.

En la tabla 3.2 se muestran los resultados de absorbancia para Curva de calibración del día 27 de junio de 2013.

**Tabla 3.2 Datos para curva de calibración para captadores pasivos**

STD	Vol. Sol. Madre (mL)	Concentración ( $\mu\text{g/mL}$ )	Absorbancia
D1	1.3	0.3	0.192468
D2	1.9	0.5	0.343797
D3	2.5	0.7	0.493109
D4	3.1	0.8	0.718835
D5	3.8	1.0	0.88919
D6	4.4	1.2	0.982953
D7	5.0	1.4	1.155081
D8	5.6	1.5	1.378059
D9	6.3	1.7	1.583268
Coef. de correlación			0.995



**Gráfica 3.2. Curva de calibración para captadores pasivos**

#### A.8. Memoria de cálculo para el método pasivo

##### A.8.1 Cálculo para curva de calibración para captadores pasivos.

###### A.8.1.1. Solución madre

Se disolvieron 0.002 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  al 99.5% en 250 mL de agua.

El peso molecular del  $\text{NH}_4\text{Cl}$  es 53  $\text{g/mol}$  del cual:

N = 14  $\text{g/mol}$

H = 4  $\text{g/mol}$

Cl = 35  $\text{g/mol}$

Debido a que se cuantifica el ión amonio únicamente, se obtiene el porcentaje de este ión.

$$\% \text{NH}_4^+ = \frac{18 \text{ g/mol}}{53 \text{ g/mol}} \times 100 = 33.96\% \text{NH}_4^+$$

De los 0.002 g que se adicionaron sólo el 33.96% es ión amonio por lo tanto la masa real utilizada del ión es:

$$M_{NH_4^+} = \frac{(0.002g) \times (33.96\%)}{100\%} = 0.00068g NH_4^+$$

El reactivo utilizado tiene una pureza de 99.5% por lo tanto:

$$M_{NH_4^+} = \frac{(0.00068g) \times (99.5\%)}{100\%} = 0.000677g NH_4^+$$

La concentración del ión  $NH_4^+$  que se obtiene al disolver los 0.002g de  $NH_4Cl$  al 99.5 % en 250 mL de agua es:

$$Conc_{SM} = \left( \frac{0.000677g NH_4^+}{250_{mL}} \right) \times \left( \frac{1000000_{\mu g}}{1g} \right) = 2.71_{\mu g NH_4^+ / mL}$$

A partir de esta solución se hicieron las soluciones estándar.

#### A.8.1.2. Soluciones estándar.

Se prepararon nueve soluciones que estándar para realizar la curva de calibración. Se tomaron cinco diferentes volúmenes (1.25, 1.88, 2.50, 3.13, 3.75, 4.38, 5, 5.63, 6.25 mL) de la solución madre. El volumen total de la muestra a analizar es de 10 mL por lo que se trabajó con el mismo volumen para realizar la curva.

$$Conc_{STD} = \frac{(Conc_{SM}) \times (Vol_{SM})}{Vol_{STD}}$$

Solución 1

$$Conc_{STD} = \frac{(2.71_{\mu g/mL}) \times (1.25_{mL})}{10_{ml}} = 0.3_{\mu g/mL}$$

Solución 2

$$Conc_{STD} = \frac{(2.71_{\mu g/mL}) \times (1.88_{mL})}{10_{ml}} = 0.5_{\mu g/mL}$$

Solución 3

$$Conc_{STD} = \frac{(2.71_{\mu g/mL}) \times (2.50_{mL})}{10_{ml}} = 0.7_{\mu g/mL}$$

Solución 4

$$Conc_{STD} = \frac{(2.71_{\mu g/mL}) \times (3.13_{mL})}{10_{ml}} = 0.8_{\mu g/mL}$$

Solución 5

$$Conc_{STD} = \frac{(2.71_{\mu g/mL}) \times (3.75_{mL})}{10_{ml}} = 1_{\mu g/mL}$$

Solución 6

$$Conc_{STD} = \frac{(2.71_{\mu g/mL}) \times (4.38_{mL})}{10_{ml}} = 1.2_{\mu g/mL}$$

Solución 7

$$Conc_{STD} = \frac{(2.71_{\mu g/mL})x (5_{mL})}{10_{ml}} = 1.4_{\mu g/mL}$$

Solución 8

$$Conc_{STD} = \frac{(2.71_{\mu g/mL})x (5.63_{mL})}{10_{ml}} = 1.5_{\mu g/mL}$$

Solución 9

$$Conc_{STD} = \frac{(2.71_{\mu g/mL})x (6.25_{mL})}{10_{ml}} = 1.7_{\mu g/mL}$$

De la curva de calibración se obtuvo la ecuación que relaciona la absorbancia con la concentración, para este caso la ecuación es la siguiente:

$$y = 1.009x - 0.1658$$

Donde la y representa el valor de la absorbancia mientras la x corresponde a la concentración en líquido de amoníaco. Por lo que la ecuación de concentración en líquido de amoníaco resulta de la siguiente manera:

$$Conc = \frac{Abs + 0.1658}{1.009}$$

Con esta ecuación se trabajó para obtener la masa capturada así como la concentración de amoniaco en aire.

#### A.8.2 Cálculo de concentración y masa capturada.

A continuación se muestra un ejemplo de cómo se calculó la masa capturada de amoniaco para el día 10 de septiembre de 2013.

Valores de absorbancia para los tres captadores pasivos para el día 10 de septiembre de 2013

<b>Pasivo</b>	<b>Absorbancia</b>
Pa	0.1474
Pb	0.1322
Pbco	0.0503

##### A.8.2.1. Concentración de amoniaco en líquido

Lo primero que se debe hacer es restarle el valor de la absorbancia del captador pasivo blanco a los otros dos captadores, de esta manera se obtiene el valor real de cada captador.

Pasivo a

$$Abs_{Pa} = 0.1474 - 0.0503 = 0.0971$$

Pasivo b

$$Abs_{Pb} = 0.1322 - 0.0503 = 0.0819$$

La concentración de amoniaco en líquido se calculó a partir de la ecuación obtenida de la curva de calibración.

$$Conc = \frac{Abs + 0.1658}{1.009}$$

Pasivo a

$$Conc_{Pa} = \frac{0.0971 + 0.1658}{0.1009} = 2.61_{\mu g/mL} NH_4^+$$

Pasivo b

$$Conc_{Pa} = \frac{0.0819 + 0.1658}{0.1009} = 2.45_{\mu g/mL} NH_4^+$$

#### A.8.2.2. Concentración de amoniaco en aire

Los captadores utilizados en este trabajo tienen las siguientes características:

$$rea = 17.98 \text{ cm}^2$$

$$Longitud = 1.46 \text{ cm}$$

$$Tiempo \text{ de muestreo} = 6 \text{ h} = 21600 \text{ s}$$

$$Volumen \text{ de extracci } n = 20 \text{ mL}$$

#### A.8.2.3. Volumen molar del amoniaco

Para determinar el volumen molar del compuesto en interés, es decir del amoniaco se utiliza la siguiente ecuación de volumen aditivo.

Cálculo de volumen aditivo para  $NH_3$  de la Tabla 17-4 (Warren & Rosenbaltt, 1990)

$$1(N) = 1 \times 5.69 = 5.69_{cm^3/mol}$$

$$3(H) = 3 \times 1.98 = 5.94_{cm^3/mol}$$

$$V_a = 5.69 + 5.94 = 11.63$$

$$V_a = 11.63 \text{ cm}^3/\text{mol}$$

A.8.2.4. Relación Mr de pesos moleculares (Ecuación 3.2)

$$Mr = \frac{Ma + Mb}{MaMb}$$

$$Mr = \frac{28.97 \text{ g/mol} + 17 \text{ g/mol}}{(28.97 \text{ g/mol}) \times (17 \text{ g/mol})} = 0.093$$

A.8.2.5. Coeficiente de difusión (Ecuación 3.1)

$$D_{NH_3} = \frac{0.001T^{1.75} Mr^{1/2}}{(P \left[ Va^{\frac{1}{3}} + Ve^{\frac{1}{3}} \right]^2)}$$

$$D_{NH_3} = \frac{(0.001) \times (298.15)^{1.75} \times (0.093^{\frac{1}{2}})}{(0.77 \text{ atm} \times \left[ 11.63 \text{ cm}^3/\text{mol}^{\frac{1}{3}} + 20.1 \text{ cm}^3/\text{mol}^{\frac{1}{3}} \right]^2)} = 0.34 \text{ cm}^2/\text{s}^2$$

A.8.2.6. Coeficiente de captación (Ecuación 3.3)

$$S_{NH_3} = \frac{D_{NH_3} A_f}{L}$$

$$S_{NH_3} = \frac{(0.34 \text{ cm}^2/\text{s}) \times (17.98 \text{ cm}^2)}{1.46 \text{ cm}} = 4.2 \text{ cm}^3/\text{s}$$

A.8.2.7. Masa de amoníaco capturada

$$Masa_{capturada} = (Conc \text{ de amoniaco en l liquido}) \times (Vol \text{ de extracci n}) \times \left( \frac{PM_{NH_3}}{PM_{NH_4}} \right)$$

Pasivo a

$$M_{Pa} = (2.61_{\mu g/m^3}) \times (20_{mL}) \times \left( \frac{17_{\mu gNH_3/mol}}{18_{\mu gNH_4^+/mol}} \right) = 49.22_{\mu gNH_3}$$

Pasivo b

$$M_{Pb} = (2.45_{\mu g/m^3}) \times (20_{mL}) \times \left( \frac{17_{\mu gNH_3/mol}}{18_{\mu gNH_4^+/mol}} \right) = 46.37_{\mu gNH_3}$$

A.8.2.8. Concentración de amoniaco en aire

$$Conc_{aire} = \frac{Conc_{Liq} \times Vol_{extracci n} \times \frac{PM_{NH_3}}{PM_{NH_4}}}{D_{NH_3} \times tiempo}$$

Pasivo a

$$C. aire_{Pa} = \frac{(2.61_{\mu g/mL}) \times (20_{mL}) \times \left( \frac{17_{g/mol}}{18_{g/mol}} \right)}{(4.2_{cm^3/s}) \times (21600_s)} \times 10^6 = 542.16_{\mu g/m^3NH_3}$$

Pasivo b

$$C. aire_{Pb} = \frac{(2.45_{\mu g/mL}) \times (20_{mL}) \times \left( \frac{17_{g/mol}}{18_{g/mol}} \right)}{(4.2_{cm^3/s}) \times (21600_s)} \times 10^6 = 510.70_{\mu g/m^3NH_3}$$