



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**Estudio de la Depositación atmosférica
en la estación CENICA-INE.**

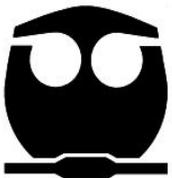
TESIS

Que para obtener el título de:

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA:

Brenda Bárcena Monroy



MÉXICO, D.F.

2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



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: Profesora: Ma. Rafaela Gutiérrez Lara
VOCAL: Profesor: Dr. José Agustín García Reynoso
SECRETARIO: Profesor: M. en C. José Abraham Ortíz Álvarez
1er SUPLENTE: Profesora: Dra. Gema Luz Andraca Ayala
2do SUPLENTE: Profesora: Marisela Bernal González

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

**Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental del
Instituto Nacional de Ecología
(CENICA - INE)**

Universidad Autónoma de Metropolitana – Iztapalapa. Edif. W, 2do piso.
Av. San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, Del. Iztapalapa, C.P.
09340, México, D.F.

ASESOR DEL TEMA

M. en C. José Abraham Ortíz Álvarez

SUSTENTANTE

Brenda Bárcena Monroy

AGRADECIMIENTOS

Al personal del Instituto Nacional de Ecología, por parte de la DGCENICA.

A mi profesor y mentor en esta tesis, el M. en C. Abraham Ortíz. Por su paciencia, su confianza, su disposición de instruirme en este largo recorrido. Por la oportunidad que me brindaste de comenzar a desarrollarme profesionalmente.

La Dra. Beatriz Cárdenas, por haberme dado la oportunidad de integrarme a su equipo de trabajo, brindarme apoyo económico, permitirme aprender y desarrollarme profesionalmente comenzando por el proyecto del cual se desprende la presente tesis.

A la Universidad del Carmen (UNACAR) en el Edo. de Campeche, a las Dras. Julia y Rosa María Cerón por ser parte de la autoría del informe acerca del proyecto *"ESTUDIO PILOTO PARA LA OPERACIÓN DE LA RED MEXICANA DE DEPOSITACIÓN ATMOSFÉRICA"*.

A Teresa Ortuño y su equipo de trabajo, Marisela Pablo y Mary Carmen Gutiérrez Cigárle del laboratorio de Cromatografía de Líquidos de CENICA, por su imprescindible colaboración en este trabajo.

A la I.Q. Faviola Altuzar que amablemente me permitió tener un espacio dentro el laboratorio de análisis de fisicoquímicos de CENICA, dándome la instrucción apropiada en el uso y cuidado del equipo pertinente. A "Don Rafa" por su disposición y confianza al capacitarme en la limpieza del material utilizado en este proyecto.

A la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) por otorgarme una beca en apoyo económico para este proyecto de tesis.

DEDICATORIAS

A Dios por darme vida para poder realizar este trabajo, por ser el primero en creer en mí, gracias a Él he llegado hasta aquí el día de hoy. Porque que él tiene el control de todas las cosas, me proporciono a las personas correctas a lo largo de estos años de carrera profesional y personal; de Él viene todo "Porque Jehová da la sabiduría, de su boca viene el conocimiento y la inteligencia" [Prov.2:6] virtudes que son máspreciadas que la plata o el oro [Prov. 16:16]; Por su voluntad tengo el privilegio de tener una familia, pertenecer a la mejor casa de estudios que es la UNAM, el haber tenido excelentes profesores para mi formación profesional, la bendición de encontrar amigos, hermanos de vida y gente que, aunque solo paso un instante en mi vida, no ha sido sin propósito.

EN CRISTO, NO EXISTEN LAS COINCIDENCIAS, NI LAS CASUALIDADES, EN ÉL, QUE ES DIOS HECHO HOMBRE, TODO TIENE UN PROPÓSITO.

A mi Mamá, por todo su amor, su apoyo, su entrega y motivarme a siempre hacer las cosas bien, dar lo mejor de mí, a nunca perder la fe. Por creer en mí, enseñarme a confiar en Dios, por ser ese ejemplo de perseverancia, responsabilidad y compromiso. Por su disposición y darme lo mejor de sí misma.

A mi Papá, por ser un maestro para mí en la carrera profesional y enseñarme a encontrar a Dios en cada una de las cosas que hago en ella. Gracias por amarme, por hacerme comprender la importancia de la humildad, el respeto y la sencillez no solo al ser un profesionista, sino en toda área de la vida.

Gracias a ambos por velar por mi salud, por suplir mis necesidades, dar lo mejor de ustedes para tener una buena formación moral y académica. Los amo.

A mi Abuela Aurora, aunque ya no está en este mundo terrenal, siempre me dio lo mejor, siendo como mi segunda madre, dándome consejos, su amor y su comprensión. Gracias por mostrarme que mi mejor amigo es Jesucristo.

A mis tíos Judith, Fernando, Temo, Tona, Víctor, por sus oraciones, cariño y apoyo.

A tía Mery por sus oraciones, su cariño, por alentarme y todos sus detalles para conmigo.

A mis primos.

Jessica, Cynthia y Mayra por sus oraciones, su cariño, por extenderme su confianza y estar presentes en momentos especiales durante todos estos años.

Josué por permitirme compartir con él, conocimiento y experiencia en su formación académica.

A Eufe por su fiel amistad, su cariño, sus oraciones, su confianza y ayuda. Por los momentos que hemos compartido y disfrutado.

A Jephthé Cruz por sus consejos, su valiosa amistad, el apoyo durante todos estos años, por compartirme de su experiencia como profesionista y como ser humano.

A Sandy Benítez, Becky Gatica, Felipe Ángeles, Mónica Hernández, Carlos Ortíz, Vianey Flores, Felipe Abreu, Roberto Basaldud, Isabel Garrido, Cristina Gutiérrez, Olivia Gutierrez y todo el grupo de trabajo perteneciente a la DGCENICA por hacerme sentir bienvenida, compartir conmigo su conocimiento, su experiencia laboral y profesional.

A Ma. De los Ángeles Benítez Macías por su ayuda en la revisión de mi tesis, sus consejos en el desarrollo de mi presentación y por su apoyo moral.

A mis hermanos, amigos y compañeros.

Ixtzul Ruvalcaba por ser mi inseparable amiga y hermana. Por estar siempre que lo necesite, por apoyarme y ayudarme en lo personal, en lo académico, en lo emocional, aprendiendo juntas, compartiendo buenos y malos momentos.

A Mariana Toral y Ahiram Antonio por su apoyo. Compartir conmigo sus conocimientos, su vida y su valiosa e inigualable amistad.

A Karla, Oscar, Gaby, Gerson, Eunice, Tino, Memo, Araceli, Fernando, Claudia, Ana Yanci, Syndi, Jonathan, Verónica, Marcel, Sorge, Moisés y Antonio por ser parte de esta aventura, por haber entrado en mi vida, compartirla y luchar juntos para alcanzar una meta en común.

Me llevo los mejores recuerdos a lado de ustedes. Gracias a por todo lo vivido en la Facultad de Química. Son una bendición.

A Cintia Reséndiz por sus consejos, recomendaciones y su aporte para la culminación de mi Tesis. A Cynthia Bober por sus porras y su apoyo. A ambas por ayudarme en el trabajo para que yo pudiera terminar y lograr esta meta.

A Claudia López e Ivonne Guzmán, por la inigualable bendición de haber entrado en mi vida en el tiempo correcto, contar con sus oraciones, su amistad incondicional, sus porras, sus consejos, por lo que he vivido con cada una de ustedes, en las buenas y en las malas, gracias por todo su amor y cariño.

A Ludim Contreras y su familia por estar al pendiente, por su apoyo en oración, su amistad, por ser un excelente amigo y hermano.

A Lucano Morales, por su amistad, apoyo en oración. Estar en momentos difíciles aunque sea a distancia pero de manera incondicional.

A Edgar y Josabeth Tapia, por su consejo, su amistad, sus porras por compartir conmigo parte de su experiencia de vida y como profesionistas.

A Jorge David Santacruz Mohry (George) por su ayuda en el análisis de resultados de esta tesis; su apoyo moral como compañero y colega de la carrera de Ingeniería química.

A Hazell Maldonado y Yatzil García por formar parte de este camino, ser invaluable amigas y hermanas de vida. Por contar con su apoyo y cariño a pesar de la distancia.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2 OBJETIVO PARTICULAR	3
CAPITULO 2. ANTECEDENTES.....	4
2.1 DEPOSITACIÓN ATMOSFÉRICA	4
2.1.1 Depositación Húmeda	5
2.1.2 Depositación Seca	6
2.2 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE LA DEPOSITACIÓN.....	8
2.2.1 Depositación a Nivel Mundial.	8
2.2.2 Depositación En México	12
2.3 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LA DEPOSITACIÓN EN LAS POLÍTICAS DE SALUD Y MEDIO AMBIENTE.	16
2.3.1 A Nivel Mundial.....	16
2.3.2 En México	19
CAPITULO 3. METODOLOGÍA.....	24
3.1 SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL SITIO DE MUESTREO.	24
3.1.1 Antecedentes.	24
3.1.2 Criterios De Selección Del Sitio De Muestreo Y Consideraciones Generales.	25
3.1.3 Sitio CENICA – UAM Iztapalapa.....	27
3.1.3.1 Aspectos Meteorológicos Del Sitio.....	29
3.1.3.2 Influencia De Fuentes Antropogénicas.....	31
3.2 PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS FISICOQUÍMICO.....	32
3.2.1 Objetivos del muestreo y análisis.	32
3.2.2 Alcances del muestreo.	33
3.2.3 Preparación De Los Contenedores De Muestras Para Depositación Húmeda Y Seca. 33	
3.2.3.1 Procedimiento Para La Limpieza De Contenedores De Muestras De Depositación Húmeda Y Seca.	34
3.2.3.1.1 Cubetas.....	34
3.2.3.1.2 Botellas	34
3.2.3.1.3 Rejilla Para Filtros De Deposito Seco.....	35
3.2.4 Procedimiento De Muestro De Depositación Húmeda (DH) Y Análisis Físicoquímico.	36
3.2.5 Procedimiento De Muestreo De Depositación Seca.....	39
3.2.5.1 Procedimiento	39
3.3 TÉCNICA ANALÍTICA APLICADA EN ESTE ESTUDIO.....	43
3.3.1 Principio Y Fundamento De La Cromatografía Por Intercambio Iónico.....	43
3.3.2 Descripción Del Procedimiento EPA 9056A – Determinación De Aniones Por Cromatografía Iónica.	44

CAPITULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
4.1 RESULTADOS FISICOQUÍMICOS	46
4.1.1 Volumen Total De Precipitación.....	46
4.1.2 Valores De pH.....	49
4.1.3 Conductividad electrolítica de las muestras.	50
4.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA.	51
4.2.1 Depositación húmeda.	52
4.2.2 Depositación seca.....	56
4.3 CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....	58
4.3.1 Definición De Rosas De Viento.....	61
4.3.2 Rosas De Viento Para Este Estudio.....	62
CAPITULO 5. CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS.....	71
ANEXOS.....	74
ANEXO A – Matriz completa de parámetros de Evaluación de sitios que conformarán la red de monitoreo.	75
ANEXO B – Lista de materiales utilizados en los procedimientos de muestreo.	76
a) Material del Procedimiento Para La Limpieza De Contenedores De Muestras De Depositación Húmeda Y Seca.	76
b) Material Del Procedimiento De Muestreo De Depositación Húmeda Y El Análisis Fisicoquímico.....	76
c) Material Del Procedimiento De Muestreo De Depositación seca.....	78
d) Casos particulares de este muestreo.....	78
ANEXO C – DIAGRAMA DE FLUJO EN INGLES DEL MÉTODO EPA 9056 A. ..	80
ANEXO D – DATOS RESULTANTES DEL ANÁLISIS QUÍMICO DEL PERIODO DE MUESTREO OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE CROMATOGRAFÍA DE LÍQUIDOS DE LA DGCENICA.	81
Depositación húmeda.....	81
Depositación seca.....	82
ANEXO E – MEMORIA DE CALCULO PARA LA CONVERSIÓN DE UNIDADES DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO (mg/L) a $\mu\text{eq/L}$ ó ($\mu\text{g/mL}$) a $\mu\text{eq/L}$	84
ANEXO F – PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR UNA SOLUCIÓN DE CALIBRACIÓN ESTÁNDAR PARA CONDUCTIVIDAD ELECTROLÍTICA.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Estaciones vigentes de la REDDA.....	15
Tabla 2 - Estándares de contaminantes criterio de la NAAQS.....	19
Tabla 3 - Valores normados para los contaminantes del aire en México	22
Tabla 4 - Matriz de parámetros de Evaluación para el sitio CENICA – UAM Iztapalapa.....	27
Tabla 5 - Temperatura y Volumen total de las muestras de deposición húmeda	46
Tabla 6 - pH y Conductividad electrolítica de las muestras de deposición húmeda.	49
Tabla 7 - Resultados del análisis químico de deposición húmeda en unidades $\mu\text{eq/L}$	52
Tabla 8 - Composiciones iónicas en deposiciones húmedas reportadas en otros estudios.....	56
Tabla 9 - Resultados del análisis químico de deposición seca en unidades $\mu\text{eq/L}$	57
Tabla 10 - Parámetros Meteorológicos de las Fechas de muestreo.....	59
Tabla 11 - Parámetros de Evaluación para los 4 sitios de la Red de monitoreo.	75
Tabla 12 - Resultados del Análisis químico de Deposición húmeda...	81
Tabla 13 - Resultados del Análisis químico de Deposición Seca.	82
Tabla 14 - Pesos equivalentes de los aniones involucrados en el análisis químico.....	86
Tabla 15 - Conductividad de soluciones de Cloruro de potasio (KCl) a 25°C	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Fuentes y tipos de contaminantes del aire. Fuente: Introducción a la ciencia ambiental, Miller 2002.	5
Figura 2 - Depositación atmosférica, consta de lluvia, nieve, polvo o gas. Con un pH inferior a 5.6 se le considera "lluvia acida". Los suelos y lagos varían en cuanto a su capacidad de amortiguar o eliminar el exceso de acidez. Fuente: Introducción a la ciencia ambiental, Miller 2002.	7
Figura 3 - Regiones en las que la depositación atmosférica es ahora un problema y regiones en las que potencialmente se desarrollara, o por aumento de la contaminación del aire (en su mayoría por centrales de energía, plantas industriales y hornos de fusión de minerales. Fuente: Introducción a la ciencia ambiental, 2002.	10
Figura 4 - Mapa de ubicación de las estaciones vigentes de la REDDA.	14
Figura 5 - Patrón del comportamiento del promedio mensual por contaminante durante 2011. Fuente: Calidad del aire en la Ciudad de Mexico, Informe 2011.	23
Figura 6 - Mapa de ubicación del sitio CENICA - INE en la UAM - Iztapalapa.....	25
Figura 7 - Oficinas de la DGCENICA - INE, Edif. W, UAM - Iztapalapa.	28
Figura 8 - Ubicación de la Delegación Iztapalapa en el Distrito Federal Fuente: http://ciudadanosenred.com.mx/category/elecciones/iztapalapa 25/Jun/2012.....	30
Figura 9 - Colector automático húmedo/seco.	33
Figura 10 - Botella de polipropileno para muestra de depositación húmeda cubierta con papel aluminio.	35
Figura 11 - Activación del sensor de humedad del colector por medio de una piseta con agua. Fuente: Estudio piloto para la operación de la Red Mexicana de Depositación Atmosférica, 2009.....	37
Figura 12 - Medición del pH de la muestra.	38
Figura 13 - Gradilla para muestras de depósito seco.	40

Figura 14 - Cajas petri con filtros del muestreo.	41
Figura 15 - Datos en el etiquetado de las muestras.	42
Figura 16 - Equipo para cromatografía por intercambio iónico para identificación de aniones DIONEX - DX500 Fuente: Lab. de cromatografía de líquidos de la DGCENICA.	44
Figura 17 - Diagrama de flujo del Metodo EPA 9056A. Determinacion de aniones por cromatografía ionica. Fuente: http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/9056a.pdf	45
Figura 18 - Gráfica de Volumen colectado por evento en mL de precipitación para el periodo: Octubre 2009 a Mayo 2010.	46
Figura 19 - Gráfica de Cantidad de precipitación expresada en milímetros (mm) para el periodo: Octubre 2009 a Mayo 2010. Fuente: Estación de Monitoreo CENICA (ver Tabla 8).	48
Figura 20 - Gráfica de Volumen total colectado por mes durante el periodo: Octubre 2009 - Mayo 2010.	48
Figura 21 - Gráfica de Valores de Potencial de Hidrógeno obtenidos a lo largo del periodo: Octubre 2009 - Mayo 2010.	50
Figura 22 - Gráfica de Valores de Conductividad electrolítica ponderada de las muestras en $\mu\text{S}/\text{cm}$ por evento de precipitación.	51
Figura 23 - Resultados del análisis químico de depositación húmeda en unidades de concentración ($\mu\text{eq}/\text{L}$) para NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} y Cl^-	53
Figura 24 - Comparación de valores obtenidos de pH y Concentración de SO_4^{2+} en $\mu\text{eq}/\text{L}$	54
Figura 25 - Comparación entre los valores obtenidos de pH Concentración de NO_3^- en $\mu\text{eq}/\text{L}$	55
Figura 26 - Resultados del análisis químico de depositación seca en unidades de concentración ($\mu\text{eq}/\text{L}$) para NO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^-	58
Figura 27 - Dirección promedio del viento por dia a partir de los datos obtenidos de la estación Cerro de la Estrella de la REDDA para el periodo de muestreo de Octubre 2009 a Mayo 2010.	60

Figura 28 - Velocidad promedio del viento por dia a partir de los datos obtenidos de la estación Cerro de la Estrella de la REDDA para el periodo de muestreo de Octubre 2009 a Mayo 2010.	60
Figura 29 - Rosa de vientos y sus diferentes direcciones en coordenadas cardinales.	61
Figura 30 - Rosa de Viento para el Mes de Octubre 2009.	62
Figura 31 - Rosa de Viento para el Mes de Noviembre 2009	63
Figura 32 - Rosa de Viento para el Mes de Diciembre 2009	63
Figura 33 - Rosa de Viento para el Mes de Enero 2010	64
Figura 34 - Rosa de Viento para el Mes de Febrero 2010	64
Figura 35 - Rosa de Viento para el Mes de Marzo 2010.....	65
Figura 36 - Rosa de Viento para el Mes de Abril 2010	65
Figura 37 - Rosa de Viento para el Mes de Mayo 2010.....	66
Figura 38 - Material utilizado durante los muestreos de depositación húmeda. Cubeta contenedora, Probeta 250 mL, Vasos de precipitado 30 y 10 mL; piseta con agua desionizada.	77
Figura 39 - Buffer para Calibración de pH. Marca Fermont. pH = 7.00 y pH = 4.01	77

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo de la tesis dentro del proyecto "*Estudio piloto para la operación de la Red Mexicana de Depositación Atmosférica*" realizado por parte de la Universidad del Carmen (UNACAR) y el Instituto Nacional de Ecología (INE) acerca de la depositación atmosférica, para el sitio representante del Distrito Federal (D.F.) en la delegación Iztapalapa, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana en donde se encuentran las oficinas de la Dirección General del Centro de Investigación y Capacitación Ambiental (DGCENICA).

Se muestran los antecedentes conceptuales e históricos, de lo que es la depositación, los diferentes estudios que se han realizado acerca de la misma alrededor del mundo y en México, esto con la finalidad de mostrar un fundamento y la importancia que tiene con respecto a la contaminación ambiental que se vive en la actualidad. Se incluye una descripción acerca de la metodología o procedimiento de muestreo que se llevo a cabo junto con las especificaciones que se deben cumplir para que los resultados arrojados por las muestras de depositación fueran aceptables.

También se dan a conocer los resultados registrados y obtenidos a lo largo de ocho meses de muestreo, en ellos se podrán encontrar datos de volumen de precipitación, pH, conductividad, así como la condición meteorológica a lo largo de este periodo, es decir variables como la dirección y velocidad del viento que influyen directamente a las muestras colectadas; estas por medio del análisis químico pertinente nos permitieron conocer los niveles de concentración de algunos contaminantes que impactan a esta región.

Con lo anterior se llevo a cabo un análisis de resultados, para ver la influencia que estos contaminantes tienen en el sitio CENICA – UAM Iztapalapa. Determinar la dirección de probables fuentes de emisión que afectan a esta zona y afirmar con ello la importancia de un estudio de depositación, para poder contrarrestar las altas concentraciones de contaminantes que dañan al medio ambiente en general.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica se ha convertido en un problema serio en la actualidad a nivel mundial y muy en específico en México, la razón principal es debido a que la atmósfera es una capa de gas que rodea a todo el planeta, en ella es donde se emiten y producen la mayor cantidad de contaminantes atmosféricos de origen antropogénico y natural. Por lo tanto al no tomar las medidas pertinentes se puede ver afectada significativamente la calidad del aire a nivel local, regional y global. Un mecanismo importante dentro del transporte de contaminantes está relacionado con el proceso denominado depósito atmosférico de contaminantes atmosféricos que a largo plazo pueden causar daño a los ecosistemas afectando los suelos, la vida de animales marinos y terrestres; provocar corrosión de materiales en las estructuras de diversas construcciones y por supuesto en la salud humana entre muchos otros impactos negativos.

El depósito atmosférico es un proceso natural de remoción que tiene la atmósfera, ya que por efecto gravitatorio los contaminantes atmosféricos depositan en su forma acuosa (Lluvia) o como material particulado (polvo o ceniza) sobre la superficie terrestre. Sin embargo por la influencia de diferentes fuentes contaminantes de origen antropogénico y natural se generan múltiples contaminantes entre los que destacan algunos aniones y cationes de relevancia desde el punto de vista ambiental, generados en su gran mayoría por procesos de combustión, los compuestos orgánicos volátiles, el material particulado entre otros contaminantes más, los cuales alteran la composición química natural de la atmósfera y depositando sobre la superficie terrestre, generando un gran impacto negativo.

Por este motivo, la comunidad internacional, ha buscado establecer programas para la mitigación y reducción de la emisión de estos contaminantes y sus consecuencias negativas al medio ambiente. Para lograr este objetivo se han realizado diversos estudios sobre depositación atmosférica, con la finalidad de aportar posibles soluciones a este problema.

En este sentido el Instituto Nacional de Ecología, a través de la Dirección de Investigación Experimental en Contaminación Atmosférica, ha venido desarrollando esfuerzos en esta materia, trabajando de manera interinstitucional con diferentes organizaciones, gobiernos e instituciones académicas, con la finalidad de conocer el impacto de las emisiones y el depósito atmosférico de las mismas en la superficie. En este sentido el presente trabajo permitió establecer las bases para

implementar las metodologías desarrolladas previamente por el Instituto Nacional de Ecología y la Universidad Autónoma de Ciudad del Carmen, con la finalidad de evaluarlas, analizarlas y emitir las recomendaciones necesarias para su implementación nacional dentro del proyecto piloto Red Mexicana de Deposito Atmosférico(REMDA). Por lo anterior el presente trabajo se desarrollo en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, (CENICA) cuyos objetivos principales se mencionan a continuación.

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar un estudio piloto de depositación atmosférica en la estación CENICA-INE mediante la implementación de metodologías desarrolladas por el Instituto Nacional de Ecología y la Universidad Autónoma de Ciudad del Carmen.
- Evaluar y revisar los procedimientos de operación y análisis de muestras de depósito atmosférico, con la finalidad de implementarlos dentro de la REMDA para el sitio piloto CENICA-INE.

1.2 OBJETIVO PARTICULAR

- Comprender mediante la implementación de metodologías los procedimientos para determinar en campo los datos de Volumen de lluvia, potencial de hidrógeno (pH), Conductividad, Concentración de especies químicas y su probable influencia de parámetros meteorológicos en este tipo de estudios.
- Evaluar los resultados obtenidos con otros estudios realizados previamente a nivel nacional, con la finalidad de establecer las diferencias más importantes, para mejorar la metodología.

CAPITULO 2. ANTECEDENTES

2.1 DEPOSITACIÓN ATMOSFÉRICA

La depositación atmosférica es el proceso donde los gases atmosféricos y las partículas se depositan sobre la superficie terrestre por efecto de la gravedad, esta se divide en dos tipos de depositación, húmeda y seca. Muchas veces se le confunde con el término "lluvia ácida" el cual, sugiere que la precipitación líquida tiene un nivel de acidez alto, de acuerdo con la literatura para que esto sea posible se debe tener un valor menor a 5.6 en la escala de pH, esto resulta principalmente de la transformación de contaminantes atmosféricos como el dióxido de azufre (SO_2) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) en contaminantes secundarios como el ácido sulfúrico (H_2SO_4), el nitrato de amonio (NH_4NO_3) y el ácido nítrico (HNO_3). Es importante mencionar que la lluvia ácida es solo parte de la componente total del depósito, por lo tanto la literatura sugiere ampliar este concepto utilizando el término "depositación atmosférica", el cual engloba especies químicas en disolución acuosa (lluvia) y en material sólido particulado, ambos pueden interactuar directamente con cualquier tipo de superficie que se encuentre en exposición y contacto directo, como por ejemplo, estructuras naturales o antropogénicas en la superficie de la tierra, Bosques, plantas, ríos, océanos por mencionar algunas [Takle, et al 1998].

Diversas fuentes de emisión contribuyen a la liberación de diferentes especies químicas (Ver Figura 1) las cuales influyen en este fenómeno como por ejemplo centrales generadoras de energía eléctrica las cuales realizan la quema de carbón, hornos de fusión de minerales y diversas plantas industriales.

Es importante mencionar que este tipo de industria en múltiples ocasiones, han buscado soluciones para reducir los costosos dispositivos de control para minimizar la contaminación local del aire y cumplir con los estándares gubernamentales requeridos. Esto los ha llevado a utilizar altas chimeneas para emitir SO_2 , PS (Partículas en Suspensión) y NO_x por encima de la capa de inversión¹; *Esta solución reduce la contaminación local del aire. Sin embargo, esto incrementa la contaminación en escalas regionales. Al ser transportados estos contaminantes primarios hasta 1.000 kilómetros por los vientos*

¹ Capa de aire denso y frío atrapado debajo de una capa de aire caliente menos denso. Impidiendo que se desarrollen corrientes de aire ascendentes. Cuando la inversión es prolongada, la contaminación del aire en la capa atrapada puede alcanzar niveles peligrosos.

dominantes, se forman contaminantes secundarios tales como vapor de HNO_3 , gotitas de H_2SO_4 y partículas de sulfatos y nitratos generadoras de ácido” [Tyler, et al 2002], por medio de la depositación estos productos químicos descienden sobre la superficie de la tierra.

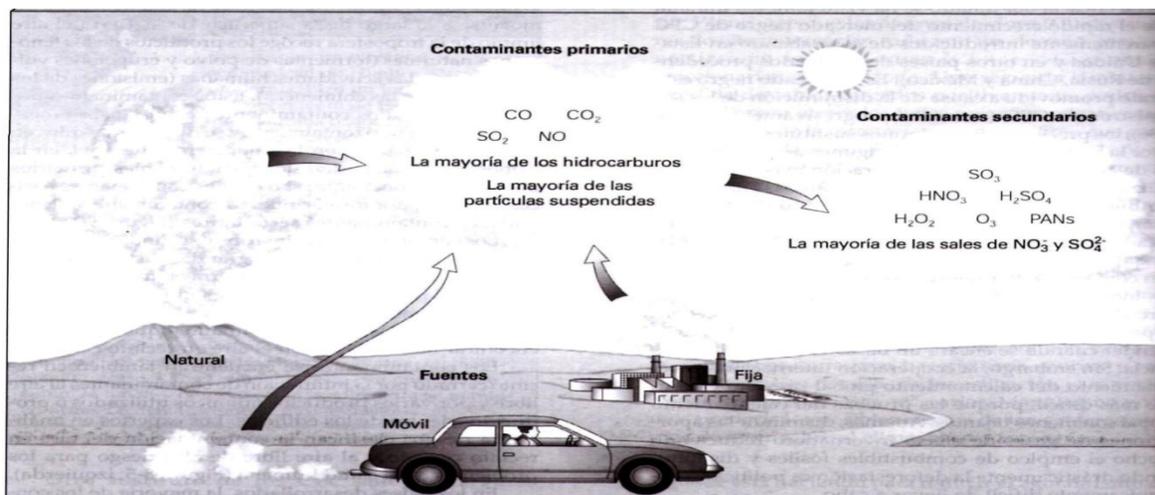


Figura 1- Fuentes y tipos de contaminantes del aire. Fuente: Introducción a la ciencia ambiental, Miller 2002.

2.1.1 Depositación Húmeda

Las partículas y vapores en disolución acuosa se depositan en la superficie terrestre en forma de lluvia, nieve o nieblas ácidas y nubes de vapor, a esto se le conoce como depositación húmeda (Ver Figura 2).

La acidez y alcalinidad de las sustancias en el agua se expresa generalmente en términos de pH. Disoluciones con valores de pH menores de 7 son ácidas, y con valores superiores a 7 se les considera básicas o alcalinas. Sin embargo las precipitaciones naturales son ligeramente ácidas, con un pH entre 5.0 y 5.6, esto es debido a que el CO_2 (Bióxido de carbono) de la atmósfera que se disuelve en la medida suficiente para formar ácido carbónico. Los resultados obtenidos se ven influidos por las concentraciones de iones H^+ (Hidrógeno); valores básicos o alcalinos se dan cuando se tienen bajas concentraciones de estos iones, y valores ácidos en concentraciones altas de estos mismos. [NAPAP, et al 1990]. Sin embargo se le considera lluvia ácida una vez que el valor está por debajo del $\text{pH} = 5.6$. [SMA - GDF, et al 2009]

Las reacciones químicas que ocurren en la atmósfera están relacionadas con SO_2 , NO_2 , compuestos orgánicos volátiles (COV's) de los compuestos ácidos y oxidantes asociados. Por ejemplo la conversión primaria de SO_2 se da a través de la reacción en fase acuosa con H_2O_2 (Peróxido de hidrógeno) en las nubes formando el H_2SO_4 . El HNO_3 se forma por la reacción entre NO_2 con radicales OH, formados fotoquímicamente; mientras el Ozono se forma por una serie de reacciones que involucran NO_x y COV's.

Actualmente existe una situación preocupante a causa de los contaminantes que se analizan en el proceso de deposición húmeda, debido a los efectos que la acidez en el agua provocan daños en la vida acuática, en los bosques, cultivos y en materiales de diferentes construcciones. Algunos ejemplos de esto son tener valores bajos de pH que contribuyen al exceso de acidez que puede interferir con los ciclos reproductivos en los peces, en presencia de mercurio se favorece la formación de metilmercurio, que es una sustancia altamente tóxica. Al haber un incremento de la acidez en los lagos, los compuestos inorgánicos de mercurio que son moderadamente tóxicos se convierten en sustancias altamente tóxicas, al ser así, tienden a ser más solubles en los tejidos grasos de los animales presentando una mayor acumulación e incrementando la concentración en las cadenas de alimentación los organismos acuáticos. [Tyler, et al 2002]. Sin embargo los expertos en análisis de riesgos consideran esto como un problema de riesgo.

También la muerte de árboles en el centro de Europa debido a la acidez de la lluvia, ha estimulado la preocupación de que puedan producirse resultados similares en Norte América. La hipótesis para este hecho es, que la lluvia ácida al contener compuestos de calcio y magnesio, favorece la absorción de aluminio por las raíces finas, lo cual conduce al deterioro del árbol [Mackenzie, et al 2008]. Cuando se lavan estas raíces en los lagos, los iones de aluminio también pueden matar a muchos y diferentes tipos de peces, ya que les estimula a la formación excesiva de mucosa provocando que se atasquen las branquias del pez y asfixiándolo.

2.1.2 Deposición Seca

La Deposición seca considera a los gases y partículas sólidas, estas se separan de la atmósfera y son dispersadas por los vientos depositando sobre la superficie terrestre por el efecto gravitatorio. Estas partículas son una compleja mezcla de diversos materiales sólidos

o líquidos suspendidos en el aire por acción mecánica, por el viento u otros factores físicos. Dependiendo de su origen, las partículas pueden variar de tamaño, forma y composición. El tamaño determina en gran medida el tiempo en que éstas permanecen en suspensión, las más grandes como el polvo del suelo se pueden sedimentar rápidamente (en periodos de minutos), mientras que las más pequeñas pueden permanecer en la atmósfera durante varias horas o días. Las partículas más grandes tienden a depositarse más cerca de su lugar de origen, mientras que las más pequeñas llegan a ser transportadas por el viento cientos de kilómetros, a los cuales se les llaman Contaminantes transfronterizos ya que traspasan regiones y hasta continentes a partir de su lugar de origen, antes de depositarse.

Las partículas mayores a 2.5 micrómetros (μm) están compuestas principalmente por polvo del suelo, restos de vegetales o animales, fibras y polen. Las partículas menores a 2.5 μm están formadas en un gran porcentaje por compuestos orgánicos en combinación con Carbono elemental e inorgánicos derivados de reacciones secundarias en la atmósfera producidos durante la oxidación del Azufre y el Nitrógeno.

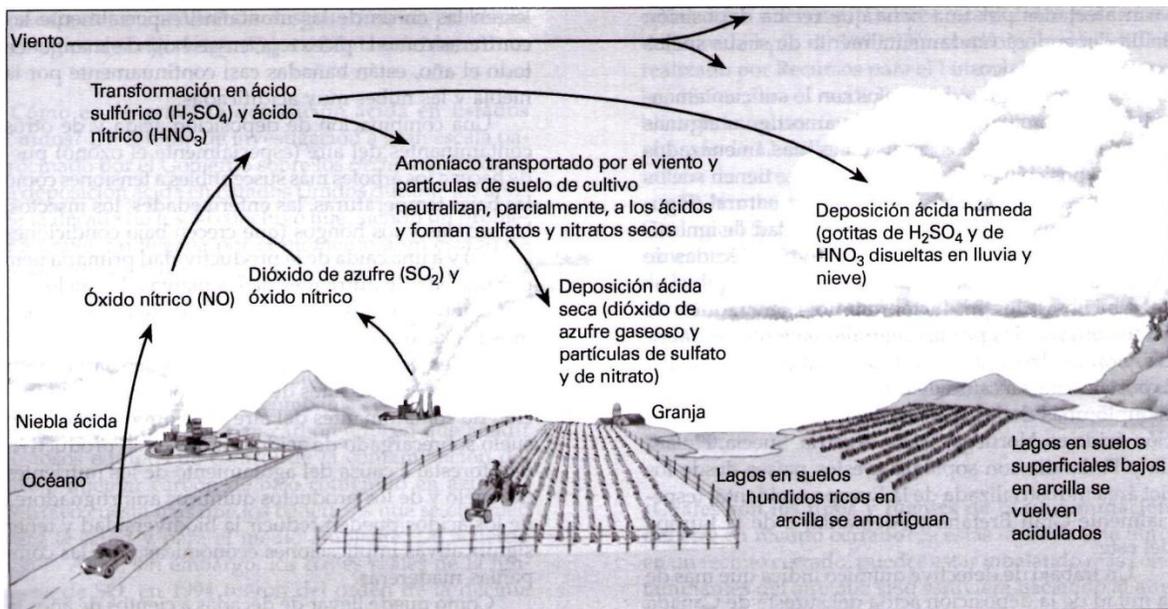


Figura 2 - Depositación atmosférica, consta de lluvia, nieve, polvo o gas. Con un pH inferior a 5.6 se le considera "lluvia acida". Los suelos y lagos varían en cuanto a su capacidad de amortiguar o eliminar el exceso de acidez. Fuente: Introducción a la ciencia ambiental, Miller 2002.

2.2 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE LA DEPOSITACIÓN.

Desde 1970 se han realizado diversos estudios acerca de la depositación atmosférica, muchos de ellos se enfocan principalmente a la lluvia ácida, pero como ya se mencionó, la definición de este fenómeno, no solo abarca el agua de lluvia, si no también partículas sólidas. A continuación se mencionan algunos de los diferentes estudios realizados alrededor del mundo y en México.

2.2.1 Depositación a Nivel Mundial.

En los años de 1950 a 1970, diversos países de occidente comenzaron un desarrollo y crecimiento a nivel económico, esto a partir de la explotación de recursos naturales, logrando su objetivo a nivel mundial. En la década de los 70's se hizo un llamado de alerta sobre los recursos del planeta, debido al uso exagerado e indiscriminado que se les daba, el hecho de continuar ocupándolos así puede provocar un deterioro mayor en la calidad de vida, afectando a todo ser viviente sobre el planeta.

Los problemas ambientales que existen actualmente, en conjunto son debidos al deterioro ambiental, causado por la destrucción de las capa de ozono, el efecto invernadero, el smog fotoquímico y la depositación atmosférica [Herrera, et al 2007]. La Figura 3 ilustra la influencia de la contaminación por depósito atmosférico a nivel mundial

El estudio de la depositación atmosférica, inició alrededor del mundo con países como Estados Unidos, Canadá, Japón, China, España, Alemania y Suecia, debido al deterioro en sus ecosistemas, y también en países que sin tener los mismos niveles contaminación se han visto afectados porque las fuentes de emisión transportan por medio de los vientos en la atmósfera a cientos de kilómetros sus contaminantes, por este motivo son denominados como contaminantes transfronterizos o transcontinentales, esto uno de los rasgos distintivos de la depositación atmosférica debido a el hecho de que la depositación de sustancias ácidas pueden ocurrir miles de kilómetros desde las fuentes originales de las emisiones precursoras. Por lo tanto podemos determinar que este fenómeno no respeta las fronteras nacionales, y produce como resultado un problema de nivel internacional. Un ejemplo de esto, se dio en el continente Europeo, el aspecto transfronterizo del problema llevó a la firma de la convención de la contaminación atmosférica transfronteriza a

gran distancia (Long Range Transboundary Air Polución - LRTAP) en el año de 1979 [Herrera, et al 2007].

Los efectos causados por este fenómeno de la depositación llamó por primera vez la atención del público cuando se dieron a conocer que han llegado a ser devastadores en los ecosistemas de la región oriental de América del Norte esto ocurrió a finales de la década de los 70's y principios de los 80,s. Al inicio de esta última década (1980) los países de Canadá y Estados Unidos comenzaron a colaborar entre ellos para atender este asunto transfronterizo.

En la siguiente década en el año de 1991 el "*Acuerdo Canadá-Estados Unidos sobre Calidad del Aire*" fue firmado por ambos países para fomentar el conocimiento científico y promover la reducción de la contaminación respectivamente. Estos acuerdos internacionales establecieron controles sobre las emisiones de NO_x y SO₂, que son los compuestos que principalmente influyen en la depositación atmosférica.

En 1992, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio ambiente y Desarrollo (United Nations conference on Environment and Development - UNCED) hizo hincapié en que las experiencias regionales existentes en Europa y América con respecto al problema de contaminación por depositación atmosférica se tomaran como uno sola y para compartirla con otras regiones del mundo. Esto ayudo a estimular actividades en el Este de Asia para tratar este tema, dando como resultado de la idea y los esfuerzos de cooperación, propuestas en varias organizaciones internacionales.

Por esta razón la agencia de Medio Ambiente de Japón comenzó el establecimiento de una red de vigilancia de los depósitos ácidos en Asia oriental, patrocinando una serie de reuniones con expertos en una red de monitoreo de depositación atmosférica. Estas reuniones se celebraron cuatro veces durante la década de los 90's (Octubre de 1993, marzo y noviembre de 1995; febrero de 1997), los participantes compartieron sus opiniones de tal manera, que llegaron a la conclusión de que los efectos adversos de la depositación se convertiría en un problema crítico en un futuro cercano en el este de Asia [Environment Agency, Government of Japan, et al 1997].

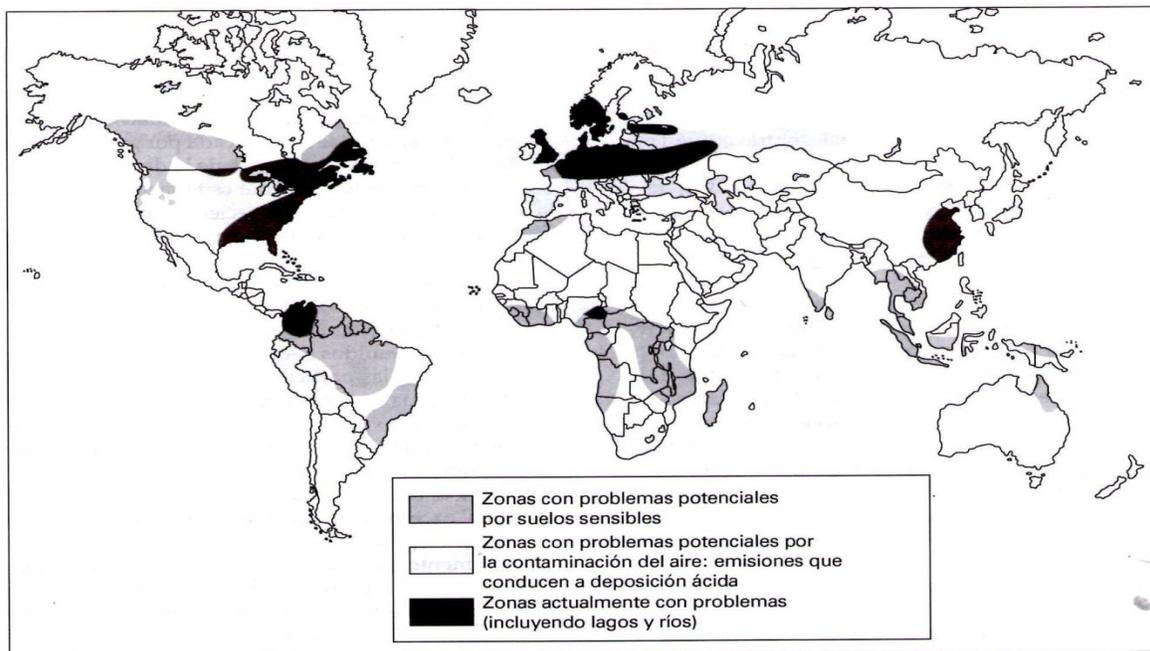


Figura 3 - Regiones en las que la depositación atmosférica es ahora un problema y regiones en las que potencialmente se desarrollara, o por aumento de la contaminación del aire (en su mayoría por centrales de energía, plantas industriales y hornos de fusión de minerales. Fuente: Introducción a la ciencia ambiental, 2002.

Por otra parte en el continente americano, Canadá creó la IADN "*Integrated Atmospheric Deposition Network, por sus siglas (Red Integral de Deposición Atmosférica en español)*" para monitoreo atmosférico y de precipitación en los Grandes Lagos, esta Red es un sistema de estaciones de monitoreo creado en torno al "*Acuerdo sobre la Calidad del Agua de los Grandes Lagos entre Canadá y Estados Unidos*" (*Canadá-US Great Lakes Water Quality Agreement*), administrado de manera conjunta por el ministerio de Medio Ambiente de Canadá y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos. El objetivo que tiene esta red es identificar y dar seguimiento a las sustancias tóxicas atmosféricas y sus fuentes, así como definir tendencias en materia de depositación atmosférica en los lagos. Las estaciones generan datos sobre la depositación húmeda y seca, además del intercambio gaseoso de plaguicidas, metales, productos de combustión y sustancias químicas industriales.

También se ocupa de determinar las cargas de sustancias tóxicas en la atmósfera dentro del sistema de los Grandes Lagos; definir las tendencias temporales (desde 1990 a la fecha) y espaciales. Con una estación maestra en cada uno de los cinco Grandes Lagos (Huron, Erie, Michigan, Ontario, y Superior) y diez estaciones satelitales adicionales, esta red monitorea la depositación de componentes químicos como plaguicidas de nivel 1 y Hexaclorobenceno (HCB), entre

otras sustancias tóxicas que se hacen presentes en la atmósfera. Entre los objetivos de la IADN estos no se ven limitados a solo hacer determinación de las cargas y tendencias atmosféricas de las sustancias tóxicas prioritarias para los Grandes Lagos, mediciones atmosféricas y de las precipitaciones, sino también en ayudar a identificar las fuentes emisoras de las sustancias tóxicas monitoreadas.

En los Estados Unidos también se realiza este tipo de monitoreo, mediante su propia red nacional, la cual es La Red de Tendencias Nacionales (*National Trends Network*, NTN) del Programa Nacional de Deposición Atmosférica (*National Atmospheric Deposition Program*, NADP por sus siglas) la cual tiene sitios de monitoreo de precipitación que recolecta de manera semanal datos exactos y precisos sobre la química de la precipitación con el fin de analizar las tendencias geográficas y temporales de largo plazo. Las muestras se analizan respecto de hidrógeno, sulfatos, nitratos, amoníaco, cloro y cationes básicos como calcio, magnesio, potasio y sodio. La NTN es un esfuerzo de cooperación entre diversos grupos, por mencionar algunos, se encuentran entre otros el Servicio Geológico de Estados Unidos (*US Geological Survey*), ocho dependencias federales (por ejemplo, el Departamento de Agricultura y la EPA), dependencias estatales y locales (por ejemplo, estaciones estatales de experimentación agrícola), universidades e industrias privadas.²Otra Red de monitoreo existente en es la Red de Monitoreo de Investigación Atmosférica Integral (*Atmospheric Integrated Research Monitoring Network*, Airmon por sus siglas) que es un conjunto de estaciones hechas para proporcionar una base de investigación para las operaciones cotidianas de las redes de monitoreo de deposición atmosférica en Estados Unidos.

La Airmon combina dos redes previas de investigación de deposición: la red MAP3S de precipitación química del Departamento de Energía, que inició en 1976, y la red CORE satelital de deposición seca por método de inferencia. La sección húmeda de Airmon consiste de 10 sitios de monitoreo que recolectan datos diarios de la química de la precipitación. En cuanto a la depositación seca, son 13 los sitios que operan actualmente en Estados Unidos.

² <http://nadp.sws.uiuc.edu/sites/ntnmap.asp>

2.2.2 Deposición En México

Los primeros estudios sobre Deposición atmosférica en la Republica Mexicana comenzaron en el año de 1960, en la Ciudad de Jalisco, durante esta década en los últimos años se dio la primera red oficial de monitoreo de la calidad del aire. En la década de los 80´s en el año de 1986 se realizó un crucero en colaboración con la Oceanica Nacional y Administración Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) para estudiar la lluvia ácida, la química atmosférica e investigaciones oceanográficas. Dentro de esos mismos años en 1988, la Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal comienza a realizar estudios de lluvia ácida, actualmente se tienen 16 estaciones de monitoreo en la red de depósito atmosférico (REDDA por sus siglas). Los efectos de la deposición húmeda se han hecho evidentes en los parques nacionales cercanos a la Ciudad de México, donde el exceso de acidez en la lluvia ha dañado bosques y suelos, así como contribuir al deterioro de monumentos y edificaciones históricas de la propia Ciudad y otras localidades [Herrera, et al 2007].

En el año 1995 se elaboro el *Programa para Mejorar la Calidad del Aire* en el Valle de México (PROAIRE) que duro hasta el año 2000, este programa propuso medidas para abatir gradualmente y controlar los niveles de contaminación; Un año antes en 1999, el Gobierno del Distrito Federal realizó un programa de monitoreo de precipitación ácida, su propósito fue difundir a los ciudadanos los estudios y avances de este fenómeno. El *Programa de Precipitación Ácida de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México* (PPAZMCM) recolecta permanentemente muestras de depósito atmosférico (total, húmedo y seco) en sus diferentes sitios de muestreo (16 sitios de estudio, donde 13 de ellos están equipados con colectores automáticos (deposito húmedo y seco) y los 3 restantes con colectores convencionales (deposito total) [SMA – GDF, et al 1999].

El Dr. Humberto Bravo Álvarez investigador de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) junto con un equipo de trabajo de la sección sobre la contaminación ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA por sus siglas) perteneciente a la misma universidad, estudiaron los efectos de la lluvia ácida en los sitios arqueológicos e históricos de *El Tajín* en el estado de Veracruz. Comenzando en el mes de Agosto del año 2002 hasta Abril del año 2003, recolectando 40 muestras de lluvia en ese lugar y aplicando un análisis de trayectoria atmosférica a cada muestra de precipitación con

el objetivo de determinar las rutas de transporte aéreo correspondientes a las precipitaciones [Bravo, et al 2007].

Más tarde en ese mismo año (2003) México consolida su esfuerzo con el *Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico (PNMA) 2003-2008*, cuyo objetivo principal fue *“establecer un programa de monitoreo atmosférico que garantice un diagnóstico y vigilancia del estado de la calidad del aire a nivel nacional, que genere información real, válida y comparable entre los diferentes sitios y redes del país, como instrumento fundamental en el establecimiento de políticas ambientales de protección a la salud de la población y de los ecosistemas”* (INE, et al 2008).³ Este programa se dividió en tres etapas con objetivos específicos los cuales una vez instrumentados, sirvieron de base para un programa de monitoreo subsiguiente. La primera etapa fue de análisis y desarrollo de herramientas; la principal tarea del PNMA fue elaborar un diagnóstico del estado actual en ese entonces de las redes de monitoreo atmosférico en todo el país, así como las leyes, las instituciones y los mecanismos financieros de apoyo. Asimismo, esta etapa se centró en el desarrollo de herramientas y procedimientos para orientar las prácticas de monitoreo de la calidad del aire en escala nacional, a fin de garantizar sistemas de calidad y hacer comparaciones con los datos. La segunda etapa fue el establecimiento de estrategias para identificar los sitios prioritarios a instaurar programas de monitoreo de la calidad del aire. Estas estrategias incluyeron los criterios de identificación, la realización de campañas de conciencia e información y la puesta en marcha de planes de monitoreo en varios estados.

Por último, la tercera etapa, en la cual se aplicaron las herramientas y las estrategias, estas consistieron en:

- Monitorear la calidad del aire en sitios prioritarios.
- Obtener la homologación de las prácticas de monitoreo.
- Establecer programas de control y aseguramiento de la calidad que validen los datos generados por estos sistemas de monitoreo atmosférico.
- Empezar programas nacionales de vigilancia mediante auditorías.

Esta etapa ayudó a crear una propuesta para un segundo programa nacional atmosférico que incluyó redes de monitoreo en todo el país de contaminantes múltiples y de sustancias tóxicas en zonas en donde se sospecha su existencia. Hoy día el PNMA incluye 62 localidades con equipo de monitoreo de la calidad del aire; 55 tienen equipo

³. www.ine.gob.mx/dgcenica/pnma.html 12/Enero/2010

operacional, pero sólo 28 monitorean automáticamente localidades de las principales zonas metropolitanas. La calidad del aire se monitorea usando métodos automáticos, manuales o mixtos. En las áreas metropolitanas se monitorean de continuo seis contaminantes criterio: SO_2 , NO_2 , PM, Pb, CO y O_3 . Sin embargo, las PM **2.5** se miden continuamente en sólo dos redes de monitoreo: la Ciudad de México y Monterrey. En el caso de la red de monitoreo atmosférico, esta aplica únicamente a gases criterio. Los Iones como Calcio (Ca^{+2}), Hidrógeno (H^+), Potasio (K^+), Magnesio (Mg^{+2}), Sodio (Na^+), Amonio (NH_4^+), los cuales por su carga positiva se les llama Cationes y los Aniones que son los que poseen carga negativa como el Cloruro (Cl^-), Carbonato (CO_3^{-2}), Nitrato (NO_3^-), Sulfato (SO_4^{-2}), se monitorean solamente en la Ciudad de México por la Red de Depósito Atmosférico (REDDA) y en unos cuantos lugares mediante estudios de caso [Sylvie, et al 2009].

Los datos de la REDDA se pueden consultar en la siguiente página web:

<http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnredda2.htm> (consultado el 07 de Dic de 2011)

Esta Red de depositación, tiene 16 estaciones actualmente en operación (Figura 4).

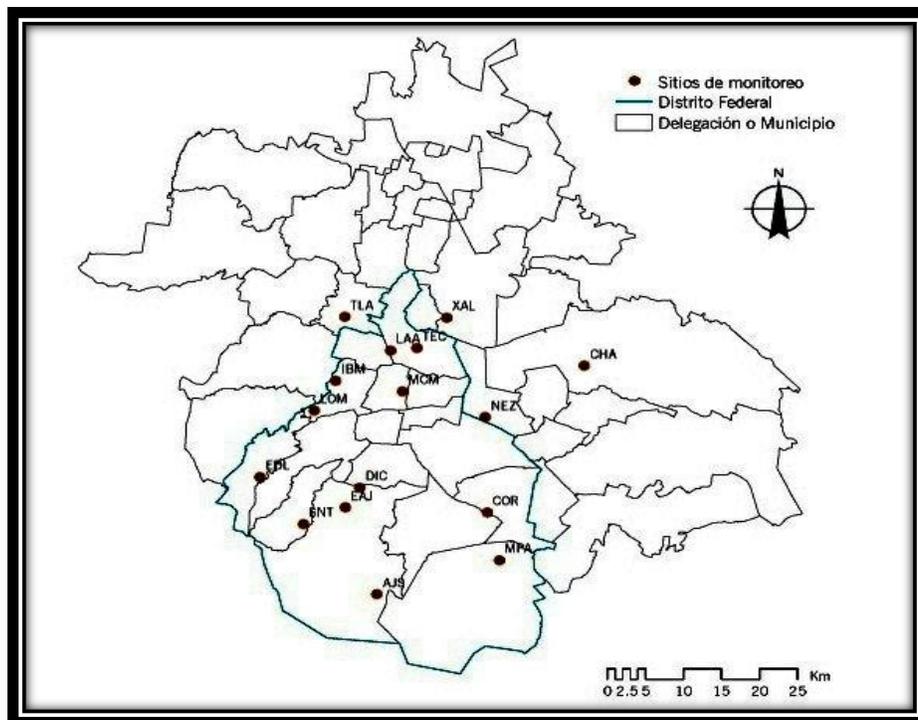


Figura 4 - Mapa de ubicación de las estaciones vigentes de la REDDA.

Fuente: <http://www.calidadaire.df.gob.mx>, consultado el 20/Sep/2012

Las siglas mostradas en el mapa del Distrito Federal y el Edo. de México contenidos en la Figura 4 están dadas por su ubicación, y se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 - Estaciones vigentes de la REDDA.

Zona	Delegación o Municipio	Estación	Clave
NOROESTE (NO)	Miguel Hidalgo	IBM Legaria	IBM
	Gustavo A. Madero	Lab. de Análisis Ambiental	LAA
	Tlalnepantla	Tlalnepantla	TLA
NORESTE (NE)	Texcoco	Chapingo	CHA
	Netzahualcóyotl	Netzahualcóyotl Sur	NEZ
	Gustavo A. Madero	Cerro del Tepeyac	TEC
	Ecatepec de Morelos	Xalostoc	XAL
CENTRO (CE)	Cuauhtémoc	Museo de la Cd. de México	MCM
SUROESTE (SO)	Tlalpan	DICONSA	DIC
	Tlalpan	Ecoguardas Ajusco	EAJ
	Cuajimalpa	Ex convento Desierto Leones	EDL
	Miguel Hidalgo	Lomas	LOM
	Tlalpan	Ajusco	AJS
	Magdalena Contreras	San Nicolás Totolapan	SNT
SURESTE (SE)	Xochimilco	CORENA	COR
	Milpa Alta	Milpa Alta	MPA

Fuente: <http://www.calidadaire.df.gob.mx/>, Consultado 20/sep/2012

En el año 2009 las doctoras Rosa María y Julia Cerón, de la UNACAR junto con la colaboración de la Dra. Beatriz Cárdenas, y los M. en C. Abraham Ortínez y Roberto Basaldud, iniciaron un estudio piloto para hacer un monitoreo de depositación atmosférica en diferentes sitios de la República Mexicana, cuya finalidad fue promover la implementación en todo el territorio mexicano, debido a que hay pocos grupos de investigación que aborden este problema, ya que el país se ve afectado por “las cargas críticas de acidez” en la depositación, provocando cambios importante en los ecosistemas.

Las perturbaciones más importantes que afectan a los ecosistemas del país se ven influidas por cambios en el uso de la tierra y emisión de

gases emitidos por procesos de combustión e instalaciones industriales. Los contaminantes primarios que se emiten a la atmosfera experimentan cambios físicos y químicos; variaciones temporales y espaciales, que promueven su transformación a contaminantes secundarios, los cuales suelen ser más dañinos que los les dieron origen, provocando fenómenos que no son solo de carácter local, si no también regional, ejemplo de esto es la depositación atmosférica [Cerón, Cárdenas, Basaldud, Ortínez, et al 2012].

2.3 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LA DEPOSITACIÓN EN LAS POLÍTICAS DE SALUD Y MEDIO AMBIENTE.

2.3.1 A Nivel Mundial.

Como se ha mencionado anteriormente muchos productos químicos peligrosos escapan al medio ambiente por una serie de actividades naturales y/o antropogénicas, esto contribuye a efectos adversos sobre la salud humana y del medio ambiente. El aumento de emisiones de combustibles fósiles en el último siglo ha generado un cambio progresivo en la composición de la atmósfera. La contaminación del aire tiene efectos crónicos y agudos en la salud humana, que afecta a un número de diferentes sistemas y órganos. Va desde una leve irritación de las vías respiratorias de manera crónica, enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón, las infecciones respiratorias agudas en niños y bronquitis crónica en adultos, lo que agrava problemas pre-existentes en el corazón y enfermedades pulmonares, o ataques de asma; la mortalidad prematura y una esperanza de vida reducida se ha relacionado con la exposición humana a contaminantes atmosféricos en un corto y largo plazo.

La vigilancia de la calidad del aire tiene como objetivo conservar los valores permisibles ambientales estableciendo los límites tolerables de contaminación, dejando en manos de los tomadores de decisión y los que emiten dichos contaminantes, el diseño y la adopción de medidas necesarias para garantizar que no se supere ese grado de contaminación. Un ejemplo de este tipo de legislación es el establecimiento de normas sobre la calidad atmosférica basadas, en la mayoría de los casos, en directrices sobre la calidad atmosférica (OMS, et al 1987) para los diferentes contaminantes; estas normas suelen indicar los niveles máximos permisibles de contaminantes (o indicadores

de la contaminación) por zonas y pueden ser de tipo primario o secundario.

Las normas primarias (OMS, et al 1980) establecen los niveles máximos de contaminación compatibles con un margen de seguridad adecuado y con la protección de la salud pública, debiendo alcanzarse en un cierto lapso de tiempo. Las normas secundarias son aquellas que se juzgan necesarias para garantizar la protección contra efectos adversos, conocidos o previstos, de peligros que no afectan a la salud (sino principalmente a la vegetación), debiendo cumplirse dentro de "un plazo de tiempo razonable".

Las normas sobre la calidad atmosférica establecen valores a corto, medio y largo plazo que deben mantenerse 24 horas al día, siete días a la semana, para la exposición mensual, estacional o anual de todos los seres vivos (incluyendo los más vulnerables, como niños, ancianos y enfermos) al igual que para la exposición de ecosistemas y construcciones antropogénicas. Estas limitaciones contrastan con los máximos niveles permisibles de exposición en el trabajo, que se refieren a una exposición semanal parcial (por ejemplo 8 horas al día, 5 días a la semana) de adultos y trabajadores supuestamente sanos [Mackenzie et al 2008].

Entre las medidas típicas de vigilancia de la calidad atmosférica se encuentran los controles de las propias fuentes como, por ejemplo, uso obligatorio de catalizadores en los vehículos o imposición de límites a las emisiones de los incineradores, planificación del uso del suelo, cierre de fábricas o reducción de tráfico en condiciones climáticas desfavorables. El control óptimo de la calidad atmosférica exige que se reduzcan al mínimo las emisiones contaminantes a la atmósfera. Estas reducciones mínimas se definen básicamente como el nivel de contaminación que se permite a cada fuente emisora y pueden alcanzarse, por ejemplo, utilizando sistemas confinados o instalando colectores y depuradores de alta eficiencia. Un límite de emisión se expresa como la cantidad o la concentración de contaminante que se permite como máximo a una sola fuente. Este tipo de legislación implica la necesidad de decidir, para cada industria, la forma óptima de controlar las emisiones (es decir, fijando límites de emisión).

El objetivo básico del control de la contaminación atmosférica es establecer un plan de control de la calidad del aire (o un plan de reducción de la contaminación atmosférica) que abarque los siguientes aspectos:

- Descripción del área en cuanto a topografía, meteorología y socioeconómica.
- Inventario de emisiones.
- Comparación con los límites de emisión.
- Inventario de las concentraciones de contaminantes atmosféricos.
- Concentraciones simuladas de contaminantes atmosféricos.
- Comparación con las normas sobre la calidad atmosférica.
- Inventario de efectos sobre la salud pública y el medioambiente.
- Análisis de las causas.
- Medidas de control.
- Coste de las medidas de control.
- Coste de los efectos sobre la salud pública y el medio ambiente.
- Análisis de coste/beneficio (coste del control frente al coste del esfuerzo).
- Planificación del uso del suelo y del transporte.
- Plan de ejecución: recursos comprometidos.
- Previsiones de población, tráfico, industrias y consumo de combustibles.
- Estrategias de seguimiento.

En 1970 por parte de la ley de Aire Limpio (CAA) en los Estados Unidos se requiere de la EPA para investigar y describir los efectos medioambientales de los contaminantes atmosféricos emitidos por fuentes fijas o móviles que puedan afectar negativamente la salud humana o el medio ambiente. La EPA utiliza estos estudios para establecer las normas nacionales de calidad de aire (NAAQS por sus siglas en inglés). Estas normas son para el aire ambiente, es decir, el aire exterior que normalmente nos rodea.

La EPA requiere de los contaminantes criterios enumerados en la tabla 2, ya que se desarrollaron criterios basados en la salud en general. La principal norma se estableció para proteger la salud humana con “un margen de seguridad adecuado”. Las normas secundarias tienen por objetivo prevenir daños al medio ambiente y la propiedad

Tabla 2 - Estándares de contaminantes criterio de la NAAQS

Estándares de Calidad del Aire Ambiental para Estados Unidos					
Contaminante criterio	Primario / Secundario	Concentración		Periodo promedio	Límite Máximo permisible
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>ppm</i>		
CO	Primario/ Primario	10,000	9	8 hrs	Una vez al año
		40,000	35	1 hr	
Pb	Primario y Secundario	1.5	N/A	Máxima media aritmética durante un trimestre	Una vez al año
NO₂	Primario y Secundario	100	0.053	Anual	No debe sobrepasarse
Ozono	Primario y Secundario	235	0.12	1 hr	Una vez al año
Ozono	Primario y Secundario	157	0.08	8 hr	
Material Particulado (PM₁₀)	Primario y Secundario	150	N/A	24 hr	Una vez al año
		50	N/A	Anual	98% en un promedio de más de 3 años
(PM_{2.5})	Primario y Secundario	65	N/A	24 hr	98% en un promedio de más de 3 años
		15	N/A	Anual	media anual, un promedio de más de 3 años
SO₂	Primario / Primario	80	0.03	Anual	Una vez al año
		365	0.14		
SO₂	Secundario	1,300	0.5		Una vez al año

Fuente: *Introduction to environmental engineering, Mackenzie 2008.*

2.3.2 En México

El efecto negativo que la contaminación tiene en la salud humana, es el aspecto que más preocupa a las autoridades responsables de la salud pública y la protección del medio ambiente. La lluvia ácida acelera el deterioro de materiales de construcción y pinturas, incluyendo

construcciones que son parte de la herencia cultural de la nación. Los gases de SO₂, NO_x y sus partículas derivadas (sulfatos y nitratos), contribuyen a la degradación de visibilidad y generan impacto en la salud pública [SMA – GDF, et al 2009].

En la década de los 80's se empezó a generar evidencia sobre los altos niveles de contaminación en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), dando lugar al desarrollo de mejores estudios acerca de contaminantes atmosféricos y sus riesgos a la salud en la década de los 90's, debido a que en estos años las condiciones de contaminación eran críticas para la Ciudad de México.

Años más tarde en el 2009, se presentó un seminario sobre "Los efectos de la contaminación del aire en la población de la ZMVM" [Riojas, et al 2009] este estudio lo hizo en base a el efecto de los contaminantes del aire sobre la salud en la década de los 90's, en donde encontró que de acuerdo a un reporte de la RAMA "Se destaca un problema muy serio de partículas en la zona sureste y noreste" [Sánchez, et al 1991].

Los riesgos potenciales se relacionan con la exposición continua de los precursores de bióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x). En el caso de la depositación húmeda cuando esta tiende a convertirse en un nivel lluvia ácida (pH < 5.6) puede provocar efectos indirectos, ya que las aguas acidificadas pueden disolver metales y sustancias toxicas de rocas, suelos, conductos y tuberías para posteriormente transportarlos hacia los sistemas de agua potable.

Las partículas suspendidas tienen un impacto importante en la población siendo responsables de diversos daños a la salud y tienen una asociación directa con el incremento en la mortalidad. Como se menciono anteriormente los grupos más afectados por estos contaminantes son los niños y los adultos mayores. En la Ciudad de México alrededor de 7.3 millones de habitantes viven en lugares en donde la concentración promedio anual de PM10 excede los 50 µg/m³ recomendados por la NOM para la salud, de esta población 2 millones son niños y 0.6 millones son adultos mayores. Las zonas con mayor riesgo se encuentran en los municipios conurbados del Estado de México localizados en el norte y poniente de la ciudad.

En el año 2010, según el Informe Anual de Calidad del Aire, hecho por el Gobierno del Distrito Federal y la Secretaria del medio ambiente realizaron un esquema de gestión ambiental el cual tuvo como objetivo lograr una mejoría en la calidad del aire implementando medidas para

mitigar las concentraciones de contaminantes atmosféricos. El monitoreo de estos contaminantes y el análisis de su tendencia histórica permitió evaluar la eficacia de estas medidas. Se hizo una evaluación sobre la reducción neta de cada contaminante, considerando 1989 como año base, se encontró que las concentraciones de contaminantes seguían una tendencia descendente. Destacando el caso de dióxido de azufre y plomo, que registran una reducción de 88% y 98%, respectivamente así como partículas menores a 10 micrómetros del 68%.

México cuenta con un marco regulatorio vigente para la protección de la salud pública contra los efectos del deterioro ambiental. La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) señala que la calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y regiones del país. Por su parte la Ley General de Salud establece que las autoridades sanitarias deberán proponer las normas necesarias que regulen los niveles de contaminantes ambientales y tomar medidas para proteger la salud humana ante riesgos asociados a la contaminación, por esta razón la Secretaría de Salud publicó las Normas Oficiales Mexicanas de salud ambiental (NOM), que establecen valores límite de protección a la salud de la población contra los daños provocados por los contaminantes ozono, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre, plomo, partículas suspendidas totales, partículas menores a 10 micrómetros y partículas menores a 2.5 micrómetros, su obligación como autoridad estatal y municipal es dar cumplimiento a estas normas, la responsabilidad del gobierno federal es vigilar que se lleven a cabo ya que si esto no ocurre, los gobiernos estatales en coordinación con sus delegaciones o municipios, deberán adoptar medidas de gestión necesarias para disminuir los niveles de los contaminantes que representen un riesgo para la salud. En la tabla 3 se citan los valores normados de contaminantes del aire en México.

Tabla 3 - Valores normados para los contaminantes del aire en México

CONTAMINANTE	VALORES LÍMITE			NORMAS OFICIALES MEXICANAS
	EXPOSICIÓN AGUDA		EXPOSICIÓN CRÓNICA	
	CONCENTRACIÓN Y TIEMPO PROMEDIO	FRECUENCIA MÁXIMA ACEPTABLE	(PARA PROTECCIÓN DE LA SALUD DE LA POBLACIÓN SUSCEPTIBLE)	
Ozono (O₃)	0.11 ppm (1 hora) (216 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-020-SSA1-1993(1)
	0.08 ppm (8 horas)	Quinto máximo en un año		
Monóxido de Carbono (CO)	11 ppm (8 horas) (12595 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-021-SSA1-1993(1)
Bióxido de azufre (SO₂)	0.13 ppm (24 horas) (341 µg/m ³)	1 vez al año	0.03 ppm (media aritmética anual)	NOM-022-SSA1-1993(1)
Bióxido de nitrógeno (NO₂)	0.21 ppm (1 hora) (395 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-023-SSA1-1993(1)
Partículas suspendidas totales (PST)	210 µg/m ³ (percentil 98 promedio de 24 horas)	24 horas	-	NOM-024-SSA1-1993(3)
Partículas con diámetro menor a 10 µm (PM10)	120 µg/m ³ (percentil 98 promedio de 24 horas)	24 horas	50 µg/m ³ (promedio aritmético anual)	NOM-025-SSA1-1993(3)
Partículas con diámetro menor a 2.5 µm (PM2.5)	65 µg/m ³ (percentil 98 promedio de 24 horas)	24 horas	15 µg/m ³ (promedio aritmético anual)	NOM-025-SSA1-1993(3)
Plomo (Pb)	-	-	1.5 µg/m ³ (promedio aritmético anual)	NOM-026-SSA1-1993(1)

Fuente: (1) Diario Oficial de la Federación para el día 23/Dic/1994

(2) Diario Oficial de la Federación para el día 30/Oct/2002

(3) Diario Oficial de la Federación para el día 26/Sep/2005

En el Distrito Federal, la Secretaría del Medio Ambiente es responsable de vigilar el cumplimiento de las NOM en materia de calidad del aire, así como establecer los programas necesarios para disminuir los niveles de los contaminantes que representan un riesgo para la población (Ver Figura 5). Sin embargo, las dimensiones actuales de la Ciudad de México rebasan los límites geográficos del Distrito Federal y su área metropolitana, con 18 municipios del Estado de México, en los

cuales habitan aproximadamente 9.4 millones de personas, más alrededor de 8.9 millones en el Distrito Federal. Por lo anterior, la gestión de la calidad del aire en la Ciudad de México no se puede administrar de forma separada, a pesar de las diferencias ambientales, sociales y económicas entre ambas entidades, por esta razón es necesario aplicar políticas metropolitanas y coordinar actividades en un marco de corresponsabilidad.

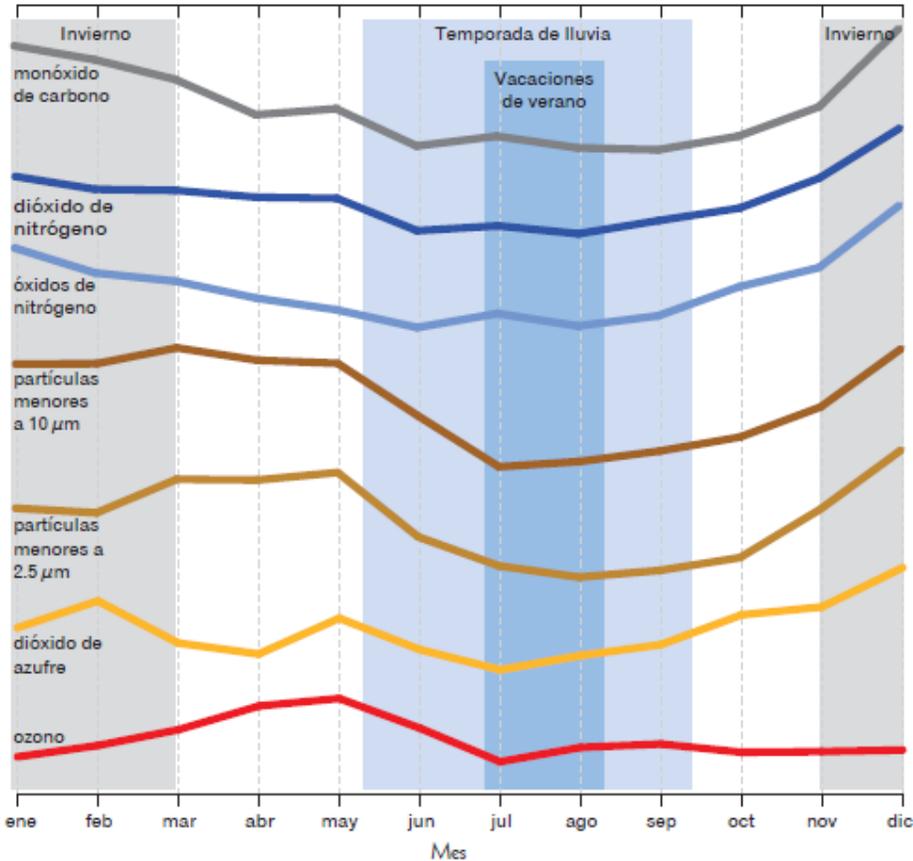


Figura 5 - Patrón del comportamiento del promedio mensual por contaminante durante 2011. Fuente: Calidad del aire en la Ciudad de México, Informe 2011. Consultado el 18/Nov/2012

CAPITULO 3. METODOLOGÍA

3.1 SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL SITIO DE MUESTREO.

3.1.1 Antecedentes.

En el Proyecto "***Estudio piloto para la operación de la red mexicana de depositación atmosférica.***", realizado por la Universidad del Carmen (UNACAR) en conjunto con la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (DGCENICA o CENICA) por parte del Instituto Nacional de Ecología (INE), se seleccionaron 4 de 15 sitios propuestos de toda la Republica Mexicana, los criterios a considerar para esta selección fueron "*su representatividad regional, formas prevalecientes de depositación y frecuencia de eventos de precipitación; representatividad de ecosistemas, probabilidad de daños en regiones ecológicas protegidas, representatividad a niveles de fondo, accesibilidad y seguridad; cumplimiento con requerimientos locales y regionales*" [Cerón, 2010].

Los 4 sitios seleccionados fueron: El Parque Nacional El Chico en el Estado de Hidalgo, la Reserva de los Petenes en el Estado de Campeche, la Ciudad de Monterrey en el Estado de Nuevo León y las instalaciones del CENICA-INE en la UAM Iztapalapa en la Ciudad de México, designado como sitio de donde de este último, se desprende la presente tesis. En la Figura 6 se muestra su ubicación dentro del Distrito Federal.

La Unidad Local Responsable son las instalaciones de la DGCENICA ubicadas en la UAM Iztapalapa bajo la responsabilidad de la Dra. Beatriz Cárdenas González, Directora de Investigación Experimental en Contaminación atmosférica y su grupo de investigación. En siguiente subcapítulo se presentan algunos de los criterios utilizados específicamente para la selección de este sitio.



Figura 6 - Mapa de ubicación del sitio CENICA - INE en la UAM – Iztapalapa

Fuente: <http://www.quickly.com.mx/DF/geografia> Consultado el 11/NOV/ 2012

3.1.2 Criterios De Selección Del Sitio De Muestreo Y Consideraciones Generales.

Los sitios seleccionados proporcionaron datos representativos de manera regional⁴, para ser usados en la caracterización de los patrones geográficos y tendencias temporales en depositación química atmosférica. En el caso de los sitios que se encuentran bajo la influencia antropogénica, como es el caso del sitio del CENICA en el D.F. se consideraron criterios generales de ubicación del colector, a nivel

⁴ Un sitio representativo regionalmente tipifica un área o región, la cual es distinguida de otras regiones por su vegetación, tipo de suelo, clima u otras propiedades.

regional, local e in situ, para asegurar la representatividad de los datos registrados [Cerón, 2010].

Para seleccionar un sitio de muestreo que forme parte de una red de monitoreo debe representar lo siguiente: una mayor área fisiográfica, de agricultura, acuática y forestada dentro de cada región. Los sitios de colección incluyen áreas donde se encuentre en curso líneas divisorias como las de aguas, (aguas marinas de agua dulce, u otra investigación hidrológica) o donde la investigación se está conduciendo sobre el ciclo de nutrientes, la contaminación atmosférica, o la química atmosférica [Cerón, 2010].

De manera adicional se toman en consideración la disponibilidad de fuentes de emisión, así como también fuentes que generen formas de depositación ya sea seca o por la frecuencia de eventos de precipitación (lluvia), otros procesos meteorológicos y atmosféricos que tengan influencia sobre el fenómeno de la depositación que sucede en un área específica.

Se toman en cuenta el registro de datos meteorológicos como la temperatura ambiente del sitio, la humedad relativa, la dirección y velocidad, pues son de suma importancia en la interpretación de los datos obtenidos en la química de la precipitación.

En la tabla 4 se muestran los parámetros de evaluación para el sitio DGCENICA, en el anexo A se incluye la tabla completa con los parámetros de evaluación para los 4 sitios que conformaron esta red de monitoreo.

Tabla 4 - Matriz de parámetros de Evaluación para el sitio CENICA – UAM Iztapalapa.

Criterio a Evaluar	SITIO 3: CENICA – UAM Iztapalapa, Distrito Federal
Representatividad regional.	✓
Impacto mínimo de fuentes locales o puntuales.	
Formas prevalecientes de precipitación y frecuencia de eventos de precipitación.	✓
Representatividad de ecosistemas.	
Probabilidad de daño en regiones ecológica protegidas.	
Representatividad de niveles de fondo.	
Infraestructura necesaria disponible.	✓
Personal de apoyo disponible.	✓
Cumple con las distancias establecidas en cuanto a la existencia de fuentes de emisión ubicadas viento arriba.	✓
Potencial de cambio en el uso de suelo.	✓
Información meteorológica disponible.	✓
Accesibilidad.	✓
Seguridad.	✓
Cumple con los requerimientos regionales.	✓
Cumple con los requerimientos locales.	✓

Fuente: Estudio Piloto de la Red Mexicana de Depositación atmosférica, 2009.

3.1.3 Sitio CENICA – UAM Iztapalapa.

El sitio CENICA-UAM (Figura 7), está localizado en un suelo que se le denomina de tipo urbano e industrial, esto es que el sitio está contenido en un lugar donde se encuentran fuentes de emisión industriales. Estas fuentes específicas incluyen operaciones industriales así como áreas urbanas y sub-urbanas relacionadas con estas.

Este sitio cumple con el siguiente requisito, según el protocolo del proyecto, que las plantas de productoras de energía eléctrica en industrias de manufactura se encuentren como mínimo a 10 km de distancia del lugar seleccionado. Se verificó que en caso de tener fuentes de emisión viento arriba del sitio, la distancia se debe

incrementar a 20 km. Este mismo criterio aplica para áreas urbanas y sub-urbanas cuya población es de alrededor de 10,000 habitantes. Para centros de población mayores de 75,000 habitantes que se encuentran vientos arriba del sitio de monitoreo, la distancia debe ser de mínimo 40 km [Cerón, 2010].



Figura 7 - Oficinas de la DGCENICA - INE, Edif. W, UAM – Iztapalapa.

Se revisaron registros acerca de la cantidad de fuentes emisoras en el área metropolitana de la ciudad de México, con un aproximado de más de 40,000 industrias así como más de 3,5 millones de vehículos que consumen un mínimo de 40 millones de litros de combustibles derivados del petróleo que emiten gases derivados de estos combustibles de manera diaria. Los contaminantes emitidos reaccionan en la atmósfera generando nuevos contaminantes llamados secundarios, estos forman parte de la composición de la depositación atmosférica y pueden llegar a ser más dañinos que sus precursores primarios.

El Diagnóstico de la Industria, el Comercio y los Servicios ubicados en el Distrito Federal 2008 [SMA-GDF, et al 2008], en la Delegación Iztapalapa donde está ubicado el sitio CENICA-UAM Iztapalapa se cuenta con 4000 establecimientos manufactureros, 30,000 establecimientos comerciales y 23,000 establecimientos de servicios. En esta zona predomina la producción de alimentos, bebidas y tabaco; aunque cerca del 51% son establecimientos de panaderías y tortillerías. También pueden encontrarse Restaurantes, hoteles, Servicios de reparación y mantenimiento [Cerón, 2010].

Se tomo en cuenta el "Inventario de emisiones de la Ciudad de México 2008" [SMA-GDF, et al 2010], y se encontró que con respecto a los NOx, se tienen más de 188 mil toneladas anuales y de éstas, el 82% es generado por las fuentes móviles. Referente a las PM₁₀, las cuales son uno de los contaminantes de mayor problema en la ZMVM, el 47% proviene de las vialidades no pavimentadas; además, del total de PM₁₀, el 23% se emiten como PM_{2.5}. De amoniaco se generaron alrededor de 20 mil toneladas anuales, teniendo a las fuentes de área como las principales emisoras, en particular por su categoría de emisiones domésticas. Al ampliar el análisis de emisiones y desagregando el inventario se tiene que los autos particulares son una de las categorías más contaminantes, generan el 41% del CO, el 32% de NOx y el 25% de SO₂; otra emisión importante en las fuentes móviles son los vehículos a diesel, en específico vehículos pesados de carga y autobuses, los cuales en conjunto generan el 36% de las PM_{2.5} y el 25% de NOx.

Del total de SO₂ de la ZMVM (6,704 ton/año), las fuentes puntuales participan con el 50% de la emisión, teniendo al sector de productos minerales no metálicos como el de mayor contribución, con 17% del total y al de sustancias químicas con el 13%. Las fuentes móviles aportan el 49% del SO₂ de la ZMVM y dentro de ésta fuente, los autos particulares generan 25%, debido al gran número de vehículos. En la Delegación Iztapalapa, de acuerdo con el Inventario de Emisiones de la AMCM⁵ 2008, el tipo predominante de uso de suelo es del tipo urbano y en esta zona se registraban 540 empresas de un total de 2581 existentes en el Distrito Federal, las cuales emiten 59 ton/año de SO₂, 225 ton/año de NOx, 137 ton/año de PM₁₀ y 4 ton/año de NH₃ [SMA-GDF, 2010].

3.1.3.1 Aspectos Meteorológicos Del Sitio

De acuerdo al protocolo para este proyecto el sitio CENICA se ubica en la azotea del Edificio W de la Ciencia y Tecnología en la UAM-Iztapalapa en la Delegación Iztapalapa (Ver Figura 8) en la Ciudad de México a 19.3589 de LN y 99.0738 LW. Las emisiones que impactan a este sitio son transportadas desde el Noreste (NE) y Sureste (SE).

Al NE del sitio CENICA-UAM Iztapalapa se encuentra localizados los municipios de Nezahualcóyotl, Reyes La Paz e Ixtapaluca

⁵ AMCM - Área Metropolitana de la Ciudad de México

pertenecientes al Estado de México; mientras que al Sureste SE se encuentra localizada la Delegación Tláhuac del Distrito Federal.



Figura 8 - Ubicación de la Delegación Iztapalapa en el Distrito Federal

Fuente:

**<http://ciudadanosenred.com.mx/category/elecciones/iztapalapa>
consultado el 25/Jun/2012**

El Municipio de Nezahualcóyotl tiene como principales actividades económicas la ganadería, el comercio y la industria. Su población agropecuaria no es relevante, ya que por ser eminentemente urbano únicamente cuenta con establos y pequeñas granjas dentro de las cuales se cuenta con cabezas de bovino, porcino, ovino, caprino y aves de corral entre otros. La industria establecida es principalmente la pequeña y micro industria, con el paso de los años estas se han extendido a lo largo de toda esta región. Por su parte, el municipio de Los Reyes, La Paz se caracteriza porque su economía se basa principalmente en la industria, que abarca el 12,37% del área municipal, seguida del sector terciario, que ocupa la mayoría de las unidades económicas. El sector primario es casi nulo, ya que las condiciones de la zona no son apropiadas para la agricultura debido a la urbanización y al deterioro del suelo lo cual no favorece el desarrollo de la ganadería. En esta zona inician tres carreteras que comunican a la Ciudad de México con el oriente del estado de México y con el estado de Puebla: la autopista México-Puebla y las carreteras México-Puebla y México- Texcoco. El municipio de Ixtapaluca tiene como actividades económicas a la agricultura, ganadería, piscicultura, industria, turismo, y servicios. Sus actividades agropecuarias en el han disminuido debido a la demanda que tienen los ejidos, por fraccionadores tanto clandestinos, como de quienes utilizan la infraestructura moderna. En 1991, este municipio contaba con cabezas de ganado bovino, porcino, ovino,

caprino, equino, aves de corral, conejos y cajas de colmenas. En 1990, se cultivaron en San Francisco Acuautla, en la presa de Tejalpa, el Jagüé y Guerrero peces (carpa); En 1997, en Coatepec, se sembraron organismos de carpas tilapa y crías de trucha arco iris. También se estableció el Jardín Industrial Ixtapaluca, donde destacan la procesadora de lácteos, alimentos especializados Gómez, S.A. de C.V, detergentes y productos químicos para la industria textil, embotelladoras y distribuidoras de agua purificada, imprenta offset, artes gráficas en general, fabricación de cristal cortado automotriz, fabricación de muebles de madera y venta, fabricación de aparatos eléctricos y extracción diversa de mármol. Además cuenta con zonas turísticas importantes como las zonas arqueológicas de las delegaciones Tlapacoya, Ayotla, Ixtapaluca, Tlapizahuac y Zonas recreativas como el parque nacional Zoquiapan, Río Frío, y Parque Ejidal. Dentro de su comercio establecido, adquiere ingresos por medio del aporte los negocios de giro alimentario y de giro no alimentario. En el comercio no establecido cuenta con uniones de tianguistas, organización de comerciantes independientes, bodegas comerciales y centros comerciales [Cerón, 2010].

3.1.3.2 Influencia De Fuentes Antropogénicas.

Debido a la representatividad del tipo de suelo al que es perteneciente el sitio de CENICA-UAM Iztapalapa (Industrial y urbano), a continuación se describen las fuentes antropogénicas que tienen influencia sobre este sitio. Las actividades económicas e industriales más importantes que se llevan a cabo en esta zona son:

De acuerdo a los censos económicos que se han realizado, se ha dado a conocer la importancia de las manufacturas y del comercio, de los cuales, los establecimientos comerciales representan el 63% del total de empresas que ocupan el 42% de la mano de obra. El 24% de las actividades comerciales que se llevan a cabo en esta zona corresponden al comercio al mayoreo el cual está ligado a la presencia de la Central de Abastos y la Nueva Viga. Localizados al Noroeste (NO) del sitio CENICA-UAM Iztapalapa. La dinámica del comercio muestra que en establecimientos al mayoreo se observa una disminución, mientras que al menudeo crecen. Esto señala una expansión del número de micro-comercios. La población económicamente activa en esta zona tomando en cuenta de los 12 años en adelante, en 1990 era de 499,166 personas; De la población ocupada y dividida en 3 sectores de actividades respectivamente (terciario, secundario y primario), el que

más sobresale es el comercio y los servicios con un 63.3%; le sigue con un 32.5% la minería, extracción de petróleo y gas; industria manufacturera, electricidad y agua, y construcción. Por último la agricultura, ganadería, caza y pesca con un 0.3% y sector no especificado con un 3.9%. En cuanto al sector industrial en esta zona, los que más destacan son los productos alimenticios, bebidas y tabaco; le continúan productos metálicos, maquinaria y equipo, incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión; en tercer lugar, producción de papel, imprentas, editoriales, junto con textiles, prendas de vestir e industria del cuero.

Son significativas algunas unidades de comercio y abasto: tomando como las más importantes "los tianguis" que son el sector más amplio por unidad, enseguida las concentraciones, mercados públicos, mercados sobre ruedas y por último la central de abastos. La Central de Abastos es considerada como el punto de encuentro entre productores, mayoristas, minoristas y consumidores de todo el país, al lado que acuden más de 250 mil personas diariamente para satisfacer los requerimientos de más de 20 millones de habitantes de la Zona Metropolitana. La diversidad de frutas, verduras, flores, hortalizas, abarrotes y carnes frías hacen de la Central de Abasto, que se extiende a 328 hectáreas, el más importante centro de comercialización. El Mercado de pescados y mariscos La Nueva Viga cuenta con 202 bodegas de mayoreo y 165 locales de tianguis. La Nueva Viga comercializa cerca del 60% de producción nacional de pescado con escama y un 60% de moluscos y crustáceos, así como otras especies de procedencia extranjera. [Cerón, 2010].

3.2 PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO.

3.2.1 Objetivos del muestreo y análisis.

- 1) Dar cumplimiento al método experimental propuesto en el manual del Proyecto "Estudio piloto para la operación de la Red Mexicana de Depositación Atmosférica".
- 2) Proporcionar una guía para el uso adecuado, mantenimiento, almacenamiento y limpieza de todo el equipo y material involucrado para la recolección de muestras de depositación húmeda y seca.

- 3) Analizar por medio de Cromatografía de líquidos los siguientes aniones: Bromuros, Cloruros, Nitratos, Nitritos y Sulfatos.

3.2.2 Alcances del muestreo.

En el presente capítulo se citan los procedimientos empleados para la limpieza y muestreo de cada una de las etapas del proceso de depositación atmosférica, no se incluye el análisis químico a detalle de este caso particular, sin embargo se adjunta una descripción de manera general y sin detalle del método analítico utilizado para el estudio químico de las muestras obtenidas.

El análisis químico fue llevado a cabo en el laboratorio de Cromatografía de Líquidos de CENICA, Con la supervisión de la Q. Teresa Ortuño y la Q. Marisela Pablo.



Figura 9 - Colector automático húmedo/seco.

3.2.3 Preparación De Los Contenedores De Muestras Para Depositación Húmeda Y Seca.

El procedimiento de operación estándar que a continuación se describe aplica para todas las botellas de muestreo en campo para agua de lluvia, cubetas para depositación húmeda y seca, así como todo el material usado para coleccionar, almacenar y extraer las muestras. La

figura 9 muestra el Colector automático húmedo – seco que se utilizó a lo largo de todo el periodo de muestreo, comprendido de Octubre 2009 – Mayo 2010.

3.2.3.1 Procedimiento Para La Limpieza De Contenedores De Muestras De Depositación Húmeda Y Seca.

La limpieza del material utilizado se realizó de acuerdo al procedimiento de laboratorio establecido en CENICA, el material para este método se puede encontrar en el inciso "a" del Anexo B.

3.2.3.1.1 Cubetas

1. Enjuagar con agua corriente el exceso de suciedad contenido en la cubeta y lavar con jabón libre de fosfatos.
2. Enjuagar con agua corriente la cubeta hasta eliminar completamente el jabón, después de esto, enjuagar por lo menos tres veces con agua desionizada.
3. Eliminar el exceso de agua de la cubeta con una toalla de papel absorbente para tareas delicadas; Colocarlas boca abajo para que se sequen por completo.
4. Al siguiente día, cuando todo el material de plástico esté seco, colocar las cubetas por separado, cada una en una bolsa de plástico, cerrar las bolsas y almacenarlas.

3.2.3.1.2 Botellas

1. Usar sólo botellas de polietileno nuevas y descartar aquéllas que parezcan tener defectos.

2. Enjuagar con agua corriente y lavar con jabón libre de fosfatos.
3. Con agua corriente eliminar completamente el jabón y enjuagar cada una de las botellas por lo menos tres veces con agua desionizada.
4. Sacudir las botellas para eliminar el exceso de agua y dejarlas secar boca abajo.
5. Una vez que las botellas estén secas, cubrirlas con papel aluminio. tapan las botellas y almacenarlas. En la figura 10 se ilustra cómo debe quedar la botella al final de este proceso.



Figura 10 - Botella de polipropileno para muestra de deposición húmeda cubierta con papel aluminio.

3.2.3.1.3 Rejilla Para Filtros De Deposito Seco.

1. Limpiar la rejilla primeramente con agua corriente y lavar con jabón libre de fosfatos.
2. Eliminar con agua corriente el exceso de jabón y enjuagar la rejilla con agua desionizada al menos tres veces.
3. Secar la rejilla con ayuda de una toalla de papel absorbente para tareas delicadas y humedecer otra toalla igual que la anterior con alcohol etílico, y limpiar la superficie de la rejilla. Dejar secar.

3.2.4 Procedimiento De Muestro De Depositación Húmeda (DH) Y Análisis Fisicoquímico.

El muestreo de depositación húmeda fue programado para realizarse en cada evento de precipitación que se presentó en el periodo: Octubre 2009 a Mayo 2010; sin embargo en el caso particular en que la cantidad de lluvia colectada fuera insuficiente para el análisis químico, no se retiraba la cubeta hasta el siguiente evento de lluvia para acumular una mayor cantidad de agua colectada.

La lista de materiales para este proceso se encuentra en el inciso "b" del Anexo B; los pasos correspondientes para la colecta de muestras de depositación húmeda se describen a continuación:

1. Es imprescindible utilizar bata y guantes de látex para evitar la contaminación de las muestras.
2. Recoger la cubeta después de un evento de precipitación (lluvia) con ayuda de una piseta con agua para activar con unas gotas de el sensor de humedad contenido en el colector de depositación húmedo/seco, esto hace que la tapa deslizable del colector se mueva al contenedor con la cubeta de depositación seca y así poder retirar la cubeta con el agua colectada; con el termómetro se toma la temperatura. Secar el sensor de humedad con ayuda de la lata de aire comprimido, de modo que la tapa regrese al lugar inicial, (Ver la figura 11).
3. Llevar al laboratorio y medir con una probeta el volumen total colectado.
4. Si el volumen original excede los 700 mL de muestra total, almacenar 500 mL para que se le aplique el análisis químico en el laboratorio correspondiente. En caso de tener un volumen menor a 500 mL, tomar un volumen mayor a 10 mL, ya que, es el mínimo a utilizar para el análisis de laboratorio.
5. Para el análisis de datos fisicoquímicos tomar dos muestras de 3 mL cada una y verterlas en vasos de precipitado de 5 mL previamente etiquetados.



Figura 11 - Activación del sensor de humedad del colector por medio de una piseta con agua. Fuente: Estudio piloto para la operación de la Red Mexicana de Depositación Atmosférica, 2009.

Blanco de campo

6. Agregar 500 mL de agua desionizada en la cubeta después de haber tomado el agua colectada. Se agita el agua desionizada dentro de la cubeta de modo que lave el fondo y sus paredes. Se lleva a una de las botellas de muestra y se etiqueta (ver etiquetado en el paso 15 de este procedimiento).

Medición de pH (Método EPA 150.1)

7. El pH se midió con un potenciómetro OAKTON - PC510 (pH/conductividad/TDS/°C/°F) y se utilizaron soluciones buffer para pH = 4.01 y pH = 7.00 para la calibración del equipo. Verificar que la temperatura de medición sea la ambiente (23°C).
8. Para la medición se tomaron uno de los vasos con 3mL de muestra de agua de lluvia, y se midió con el electrodo, hasta que el valor registrado en el equipo de mantuvo estable. Al terminar, limpiar con agua desionizada (Ver Figura 12).



Figura 12 – Medición del pH de la muestra.

Medición de conductividad (Método EPA 120.1)

9. Calibrar el equipo, el cual debe mostrar estabilidad en la lectura entre una medición y otra obteniendo la repetición en los resultados leídos. Al finalizar enjuagar la celda de medición con una piseta con agua desionizada. Repetir estos pasos cada vez que se realice una medición y verificar que la temperatura de medición sea la ambiente (23°C).
10. Medir la conductividad con 3mL de muestra de agua de lluvia con la celda de conductividad, hasta que el valor registrado en el aparato sea estable. Al terminar, limpiar con agua destilada.
11. Anotar en la bitácora los siguientes datos: Tipo y número de identificación de la muestra; fecha y hora de muestreo, temperatura ambiente, volumen total, volumen final, pH, conductividad y observaciones en caso de tener alguna característica importante que afecte al análisis fisicoquímico y químico.

Almacenamiento de muestras de depósito húmedo.

12. Las botellas deberán ser etiquetadas con los siguientes datos: Tipo y número de identificación de la muestra; fecha y hora de muestreo, y si es Blanco de campo, se escribe una "B" al lado del no. de identificación.

Ejemplo:

No. Identificación y tipo de muestra: DH-01
DH-02B (Blanco de campo)
Fecha de muestro: 16/Oct/2009
Hora de muestro: 13:09
Persona a cargo del muestreo: Brenda

13. La muestra deberá ser refrigerada y así como el blanco a una temperatura de 4°C. La botella de dicha muestra, debe estar perfectamente cerrada, cubierta por papel aluminio, y etiquetada. Guardar en una bolsa resellable, sacando todo el aire posible contenido en la misma (es decir como si fuese cerrada al alto vacío).

3.2.5 Procedimiento De Muestreo De Depositación Seca.

3.2.5.1 Procedimiento

El muestreo de depositación seca (DS) se programo para ser colectado semanalmente. Esto se hizo de acuerdo al protocolo "ESTUDIO PILOTO PARA LA OPERACIÓN DE LA RED MEXICANA DE DEPOSITACIÓN ATMOSFÉRICA". La razón es, que los filtros obtuvieron una cantidad de partículas (polvo) considerables para el análisis químico pertinente. Debido a que la obtención de esta muestra es la depositación por gravedad de las partículas en los momentos que no llueve, el recipiente del depósito seco se quedo expuesto, y solo se cubría cuando el sensor de humedad del colector entre una lluvia y otra cambiaba de lugar la tapa.

El material para este procedimiento está contenido en el inciso "c" del anexo B y se enlistan los pasos para el muestreo de depósito seco a continuación:

Preparación de los filtros iniciales

1. Es imprescindible usar bata y guantes de látex para evitar la contaminación de las muestras.
2. Previamente humedecer en alcohol una toalla para tareas delicadas, y limpiar la gradilla para evitar que esta por algún residuo de polvo pudiera contaminar a los filtros.
3. Humedecer otra toalla con alcohol y limpiar las pinzas para los filtros.
4. Colocar cada uno de los tres filtros nuevos en los respectivos espacios contenidos en la gradilla e introducir la gradilla en la cubeta limpia destinada para este muestreo (Ver figura 13).
5. Llevar la cubeta al colector húmedo/seco y dejar por una semana.

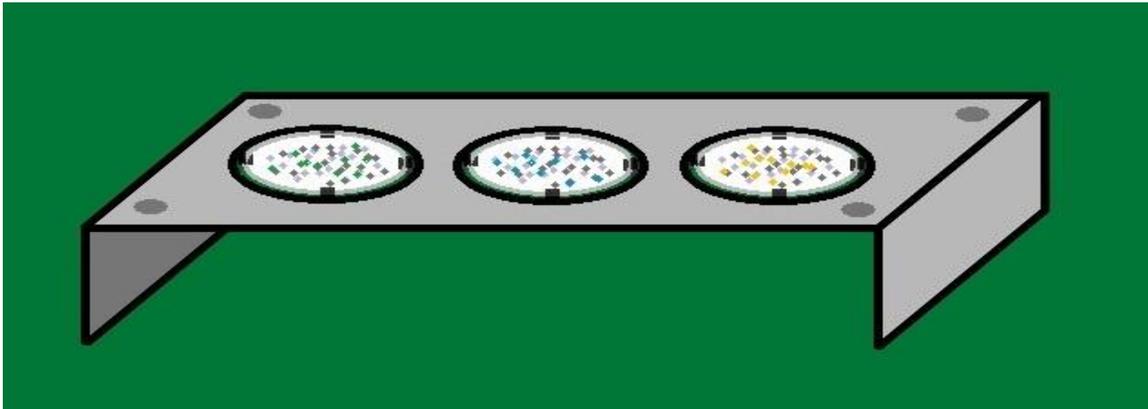


Figura 13 - Gradilla para muestras de depósito seco.

Colecta de muestra después de una semana.

Repetir el paso 1 y 3 antes de iniciar.

6. Llevar un filtro nuevo en una caja petri, a donde se encuentra el colector húmedo/seco con las muestras. Abrir la caja petri con el filtro y dejarlo al aire libre durante la colecta de muestra. Este filtro será el Blanco de campo del depósito seco. Terminada la colecta cerrar la caja petr.
7. Llevar los filtros al laboratorio. Envolver en papel aluminio y etiquetar la caja petri con el Blanco de campo para no confundirlo con los demás.
8. Con las pinzas retirar cada uno de los filtros de la gradilla y guardar 1 filtro por cada caja (Ver Figura 14).



Figura 14 - Cajas petri con filtros del muestreo.

Almacenamiento de muestras de depósito seco.

9. Etiquetar cada una de las cajas petri y enumerar los filtros (1,2,3 y B (Blanco)). Envolverlas con papel aluminio y nuevamente etiquetarlas para su fácil identificación.
10. Las cajas petri deberán contener los siguientes datos: Tipo y número de identificación de la muestra; numero de filtro; fecha y

hora de muestreo; si es Blanco de campo, se escribe una "B" al lado del no. de identificación.

Ejemplo:

No. Identificación y tipo de muestra: DS-01

Añadir número de filtro: DS-01-1; DS-01-2; DS-01-3.

Blanco de campo: DS-01 -B

Fecha de muestro: 18/Oct/2009

Hora de muestro: 13:09

Persona a cargo del muestreo: Brenda

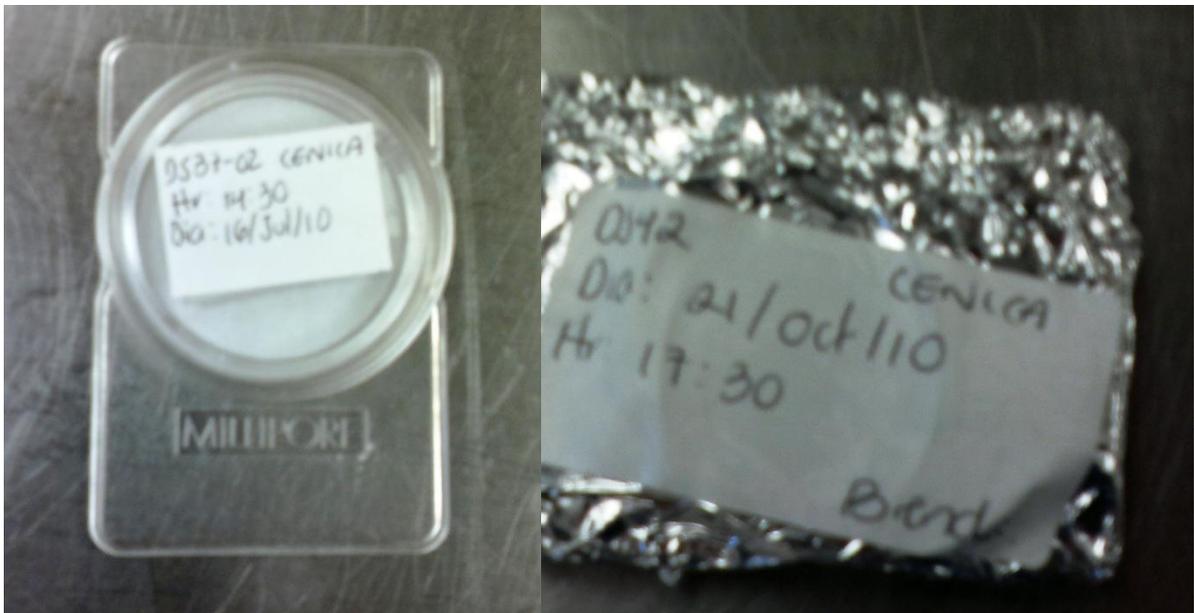


Figura 15 - Datos en el etiquetado de las muestras.

Preparación del nuevo muestreo

Repetir los pasos 1 a 6 de este protocolo de muestreo (Procedimiento de muestreo de depositación seca) para la siguiente semana de muestreo.

11. Lavar la cubeta usada en este tipo de depositación cada 3 semanas.

En el inciso "d" del anexo B pueden revisarse casos especiales sobre el muestreo de depositación seca, que se presentaron para algunas de las muestras colectadas.

3.3 TÉCNICA ANALÍTICA APLICADA EN ESTE ESTUDIO

Se realizó el análisis químico de las muestras colectadas para iones de carga negativa es decir aniones. Esta técnica analítica es conocida como "*Determinación de aniones por cromatografía iónica*" (Method EPA 9056 A Determination of anions by ion chromatography).

3.3.1 Principio Y Fundamento De La Cromatografía Por Intercambio Iónico.

La cromatografía de intercambio iónico es una de las muchas técnicas aplicadas actualmente de la Cromatografía Líquida de Alta Eficacia (HPLC por sus siglas en ingles)⁶, en ella, existe la interacción de fuerzas iónicas intensas de los compuestos involucrados en el uso de esta técnica. En la actualidad, existen dos campos de análisis con este tipo de de cromatografía: iones inorgánicos (sobre todo aniones) y moléculas de interés biológico (péptidos, macromoléculas).

Las técnicas de intercambio iónico se encargan de separar los solutos de una muestra basándose en las diferencias de sus cargas. Esto puede aplicarse a cualquier molécula soluble en un sistema acuoso; los solutos separados pueden ser inorgánicos, orgánicos, proteínas, ácidos nucleicos y péptidos.

El fundamento de esta cromatografía, es "*la atracción iónica que la fase estacionaria primero (retención) y la fase móvil después (elución) establecen sobre los solutos de naturaleza iónica con carga*" [Haddad y Jackson, 1990]. La fase estacionaria debe contener iones de carga contraria a los del soluto. En otras palabras, la retención de este tipo de cromatografía, se basa en la atracción iónica entre moléculas de carga eléctrica opuesta.

En la cromatografía de intercambio aniónico: los solutos son aniones y la fase estacionaria posee grupos con cationes, que tienen la capacidad de retener a los solutos, es decir "*La fase estacionaria es una fase ligada, rica en grupos funcionales con carga positiva, que separan solutos con carga negativa*" [García de Marina, et al 2008].

⁶ "*High Performance Liquid Chromatography*"

3.3.2 Descripción Del Procedimiento EPA 9056A – Determinación De Aniones Por Cromatografía Iónica.

Este procedimiento es aplicado en el laboratorio de análisis químico por cromatografía de líquidos en las instalaciones del Centro de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA), en la figura 16 se muestra el equipo de análisis químico utilizado. El método aplicado es el EPA 9056A – Determinación de aniones por cromatografía iónica. La figura 17 describe de manera general este procedimiento [EPA, et al 2012] por medio de un diagrama de flujo. En el anexo C se muestra la versión original en idioma inglés de este diagrama.



Figura 16 - Equipo para cromatografía por intercambio iónico para identificación de aniones DIONEX - DX500 Fuente: Lab. de cromatografía de líquidos de la DGCENICA.

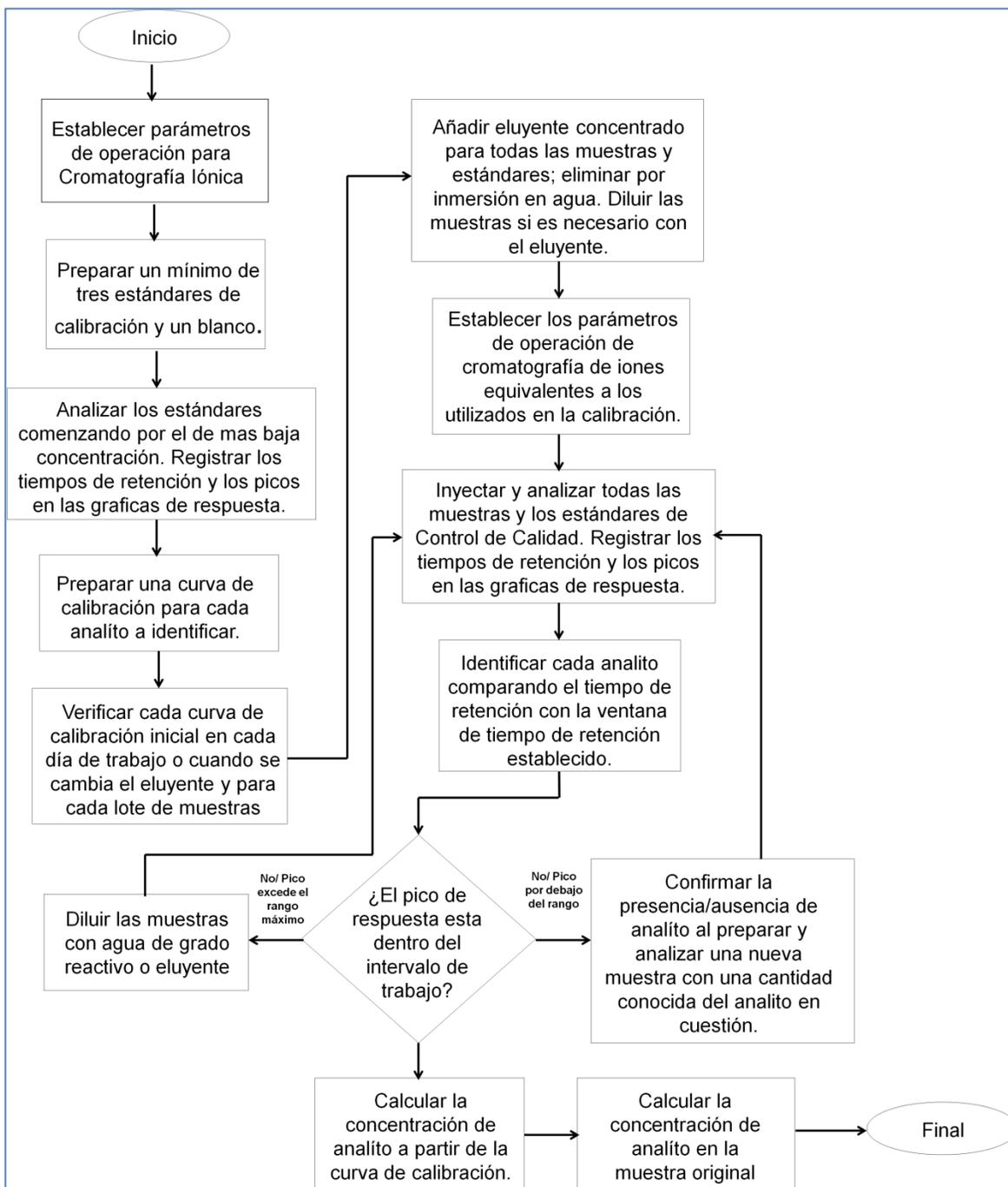


Figura 17 – Diagrama de flujo del Metodo EPA 9056A. Determinación de aniones por cromatografía ionica. Fuente: <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/9056a.pdf> consultado el

CAPITULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con el muestreo realizado en el lapso de Octubre 2009 a Mayo 2010 con base en los objetivos planteados, se presentan los siguientes resultados, siendo los de carácter fisicoquímico presentados únicamente para los obtenidos vía depositación húmeda.

4.1 RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

4.1.1 Volumen Total De Precipitación

Durante el periodo de muestreo, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 5. En la Figura 18 se pudo ver que Octubre del 2009, seguido por Febrero, Abril y Mayo del 2010 fueron los meses que presentaron la mayor cantidad de eventos de precipitación. De los cuales, Octubre y Febrero presentaron altos volúmenes de agua de lluvia, esto se puede constatar viendo en la Figura 19 los milímetros (mm) de precipitación.

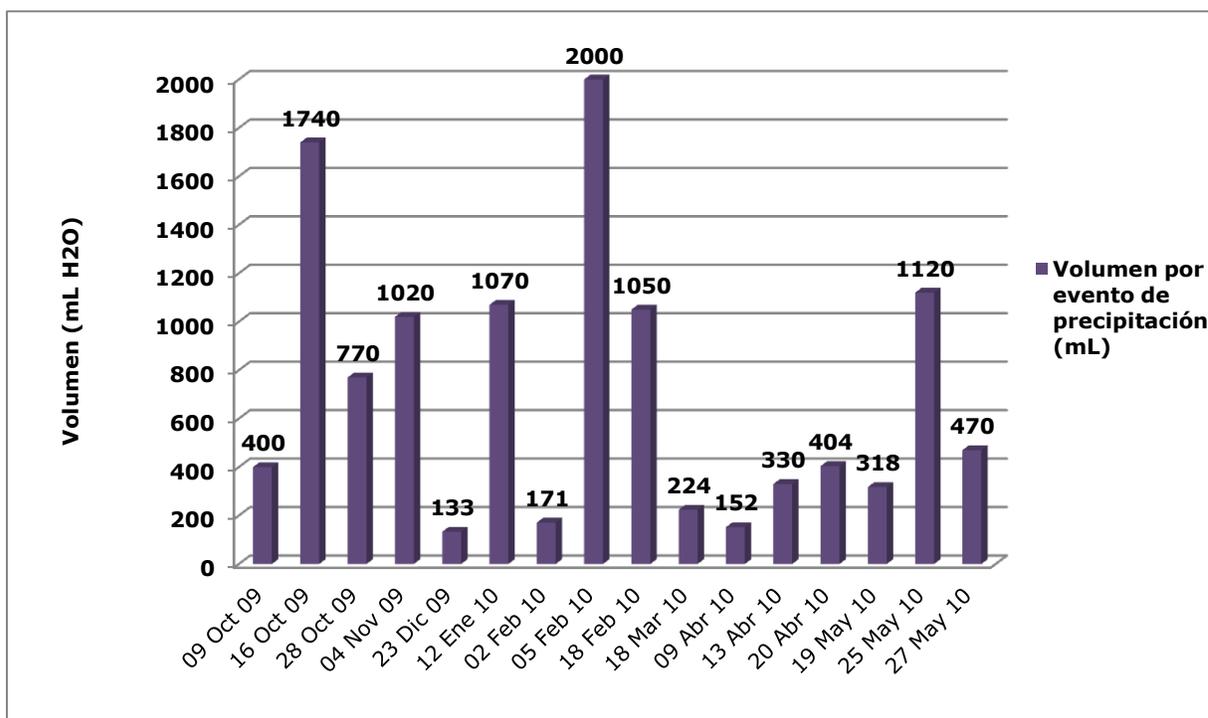


Figura 18 - Gráfica de Volumen colectado por evento en mL de precipitación para el periodo: Octubre 2009 a Mayo 2010.

Tabla 5 - Temperatura y Volumen total de las muestras de deposición húmeda

N	Día	Hora	Temperatura (°C)	Volumen total (mL)
1	28/oct/09	14:15	23.1	770
2	04/nov/09	14:30	22	1020
3	23/dic/09	12:35	24	133
4	12/ene/10	16:00	20.2	1070
5	02/feb/10	14:20	19	171
6	05/feb/10	13:15	18	2000
7	18/feb/10	15:00	13	1050
8	18/mar/10	13:00	24	224
9	09/abr/10	14:00	22	152
10	13/abr/10	15:00	27	330
11	20/abr/10	13:05	28	404
12	19/may/10	13:05	25	318
13	25/may/10	14:15	31	1120
14	27/may/10	12:45	26	470

Febrero de 2010, destaca en estos resultados, ya que se tuvieron lluvias atípicas, pues no está considerado dentro de la temporada húmeda en esta región [SMA - GDF, et al 2010]. Los meses de Junio a Octubre están considerados como la temporada de lluvias en la Ciudad de México, sin embargo fue el mes que tuvo la mayor cantidad de agua que se observa en la Figura 20 con un volumen de 3221 mL dentro del periodo de muestreo 2009 – 2010.

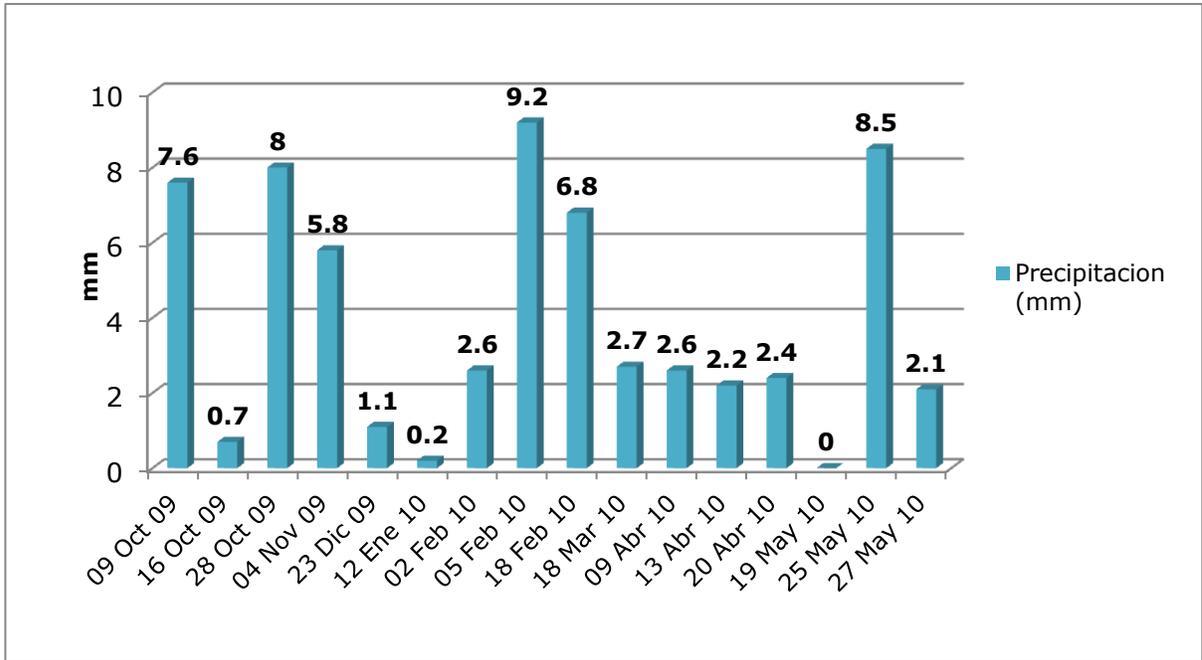


Figura 19 - Gráfica de Cantidad de precipitación expresada en milímetros (mm) para el periodo: Octubre 2009 a Mayo 2010. Fuente: Estación de Monitoreo CENICA (ver Tabla 8).

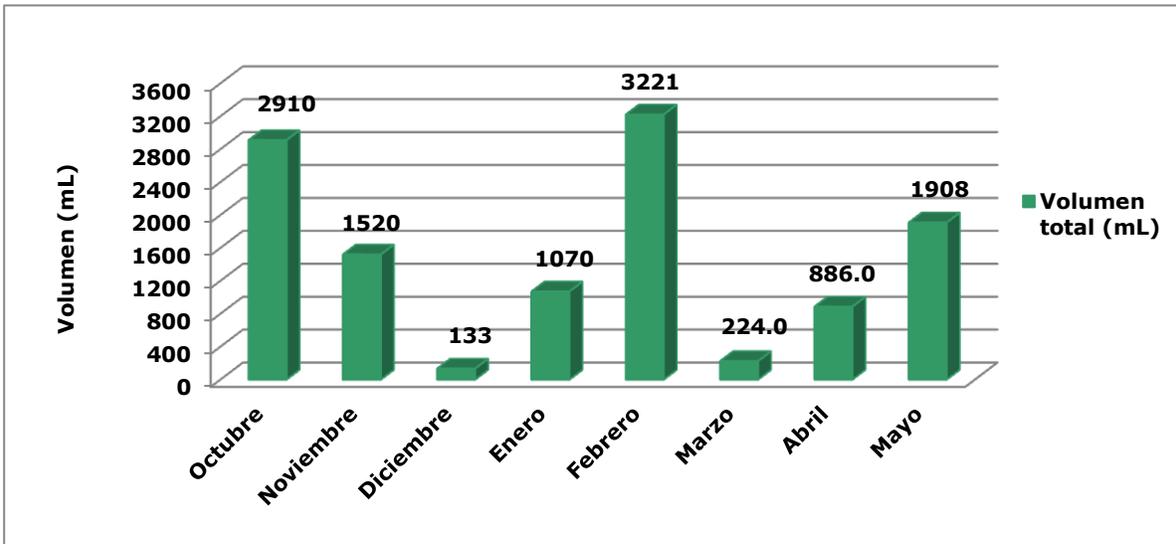


Figura 20 - Gráfica de Volumen total colectado por mes durante el periodo: Octubre 2009 - Mayo 2010.

4.1.2 Valores De pH

Los valores de pH resultantes presentados en la tabla 6 que predominaron durante el periodo fueron mayores con respecto al valor establecido para definir la lluvia como ácida esto puede apreciarse en la Figura 21, este número es un pH = 5.6 [Charlson y Rhode, et al 1982]. Esto puede deberse a que existen iones que ayudan a la neutralización de las especies ácidas contenidas en las muestras obtenidas. La presencia de iones H^+ en exceso en la depositación húmeda influye en el nivel de acidez de la muestra, sin embargo debido a la existencia de aniones como el SO_4^{-2} y el NO_3^{-1} [Cerón y Guerra, et al 2012] sus cargas iónicas se balancean disminuyendo el número de radicales libres en la solución. El grafico nos muestra que el 18.75% del total de muestras tuvo un pH menor a 5.6. Es decir, solo se presentaron 3 eventos durante el periodo de 8 meses donde se tuvieron lluvias ácidas.

Tabla 6 - pH y Conductividad electrolítica de las muestras de depositación húmeda.

N	pH	Conductividad ($\mu S/cm$)
1	5.69	58.1
2	4.76	28.2
3	6.01	193.6
4	5.44	106.3
5	5.72	85.6
6	5.52	5.14
7	6.56	31
8	6.55	210
9	6.4	337
10	6	133.7
11	5.95	89.6
12	6.05	277
13	5.94	110.7
14	5.63	104.6

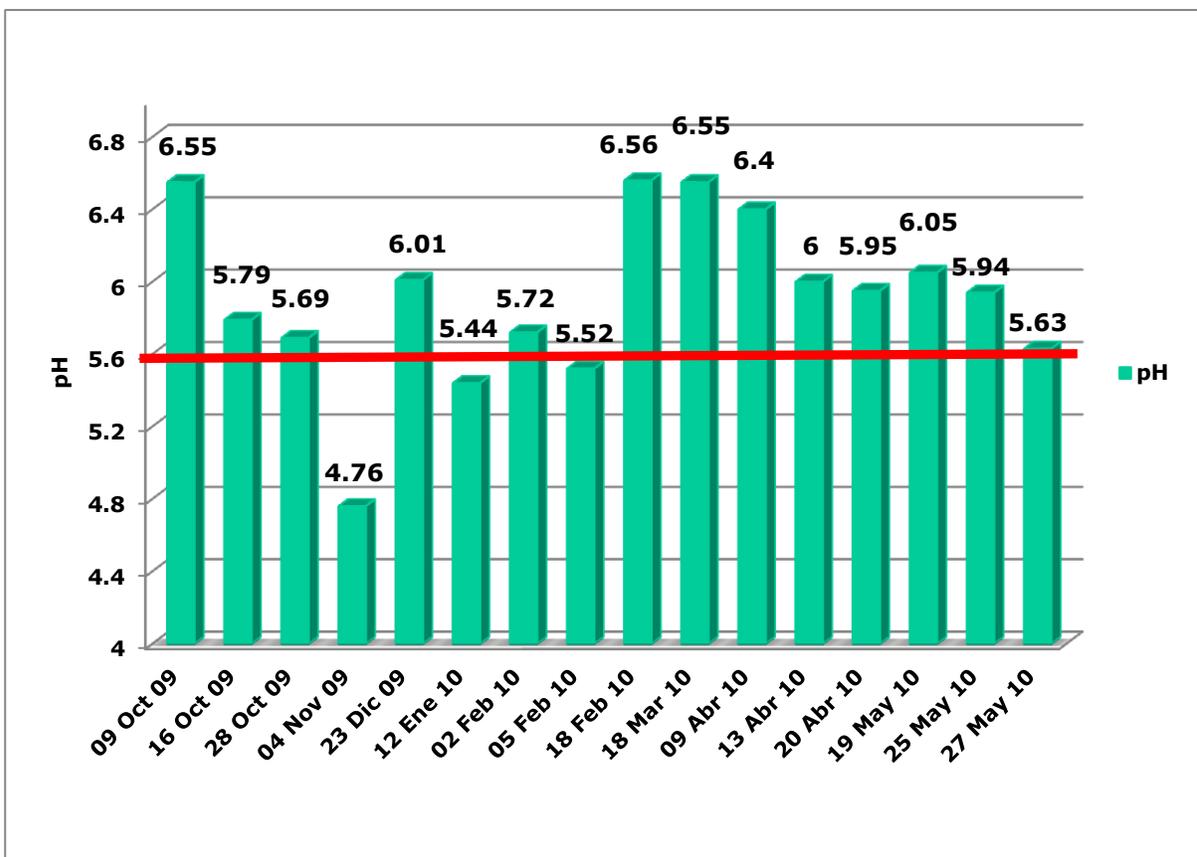


Figura 21 - Gráfica de Valores de Potencial de Hidrógeno obtenidos a lo largo del periodo: Octubre 2009 – Mayo 2010.

4.1.3 Conductividad electrolítica de las muestras.

Con respecto a la conductividad, los valores más altos de acuerdo con la Figura 22 se presentaron durante los meses de Diciembre, Marzo y Abril, estos fueron meses en donde la cantidad de lluvia fue menor a lo largo del periodo de estudio.

Mientras que en el caso contrario conforme avanzaron los días entre los meses de Abril a Mayo, se presentaron de manera consecutiva eventos de precipitación y un aumento del volumen de agua acumulado, mostrando que se llevo a cabo el proceso de lavado de atmósfera.

El caso de Febrero es similar al anterior (pH – Figura 21), debido a las lluvias atípicas y consecutivas que se presentaron, se obtuvieron los valores de conductividad más bajos de todo el periodo de muestreo, con esto, se puede aseverar que entre más eventos de lluvia o precipitación se presentan, los valores de conductividad disminuyen.

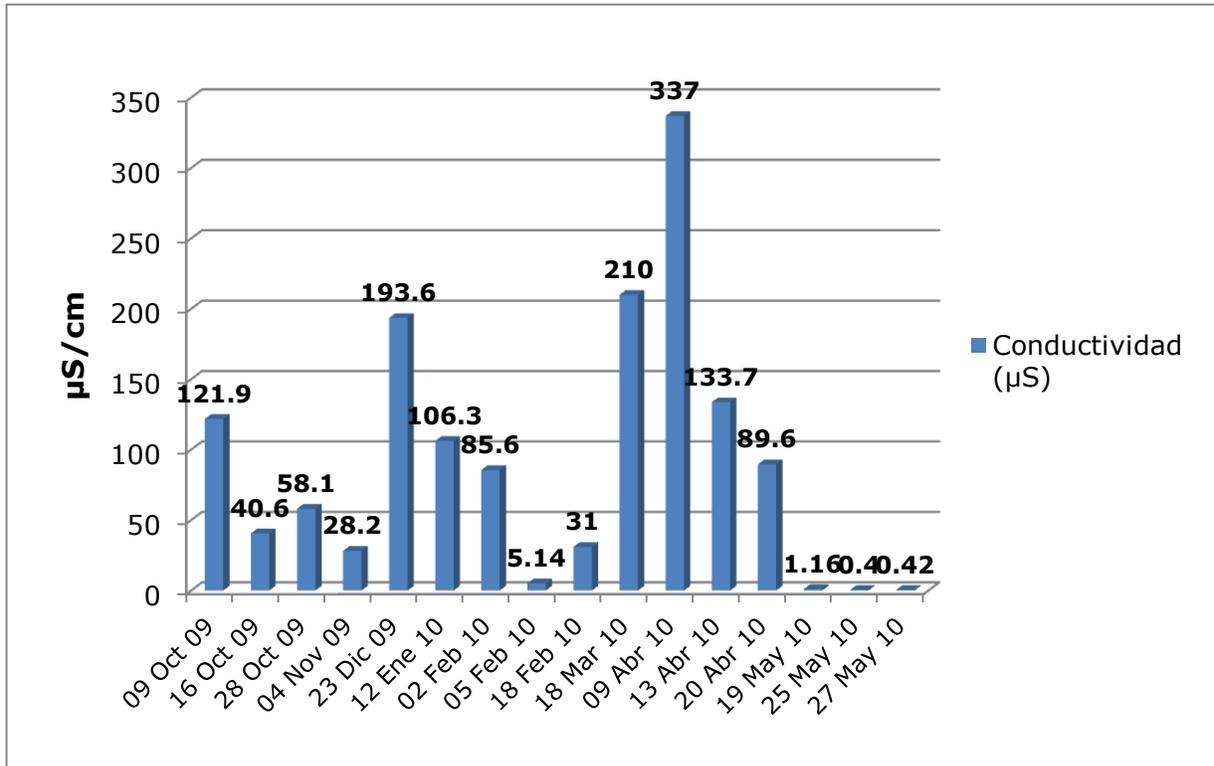


Figura 22 - Gráfica de Valores de Conductividad electrolítica ponderada de las muestras en µS/cm por evento de precipitación.

4.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Los datos presentados a continuación (Figuras 23 y 26) son en unidades de µeq/L, los cálculos realizados para obtener estas unidades se encuentran en los anexo E. Por cuestiones ajenas a este estudio, el mes de Octubre del 2009, no presentara completos los resultados obtenidos en el análisis químico, por lo tanto se presentaran a partir de las siguientes fechas:

- Depositación húmeda se presenta a partir del 28 de Octubre del 2009 hasta el 27 de Mayo del 2010.
- Depositación seca se presenta a partir del 30 de Octubre del 2009 hasta el 25 de Mayo del 2010.

4.2.1 Depositación húmeda.

Las concentraciones resultantes del análisis químico se muestran en la tabla 7 expresado en $\mu\text{eq/L}$, para ver los valores en $\mu\text{g/mL}$ ver el Anexo D, tabla 12. El día 9 de abril se presentó la mayor concentración de los iones SO_4^{2-} y NO_3^- . De acuerdo con las figuras 18 y 20 el volumen obtenido es muy bajo para tener una dilución significativa de estos iones en la muestra, en la Figura 23 se muestra gráficamente estos resultados.

Tabla 7 - Resultados del análisis químico de depositación húmeda en unidades $\mu\text{eq/L}$.

RESULTADOS QUÍMICOS DE DH				
$\mu\text{eq/L} = \text{N}$				
N	Cloruros	Nitritos	Nitratos	Sulfatos
1	3.5616	4.8936	38.7301	61.8367
2	2.1917	1.4893	16.3492	33.2653
3	29.3150	19.1489	203.6507	284.6938
4	7.6712	13.8297	97.4603	170.6122
5	16.1643	3.4042	66.8253	103.6734
6	7.3972	0.8510	12.6984	25.5102
7	1.9178	7.0212	15.0793	20.2040
8	26.8493	6.1702	180.6349	445.5102
9	38.0821	10.2127	463.9682	474.4897
10	14.2465	5.5319	81.1111	160.6122
11	11.7808	4.0425	83.6507	99.1836
12	31.7808	7.4468	278.2539	347.1428
13	10.9589	4.0425	74.2857	121.4285
14	11.5068	2.5531	65.2380	123.8775

En cambio los meses que presentaron la mayor cantidad de eventos de precipitación los valores de concentración fueron muy bajos, siendo el mes de Febrero el de menor valor, seguido por Octubre.

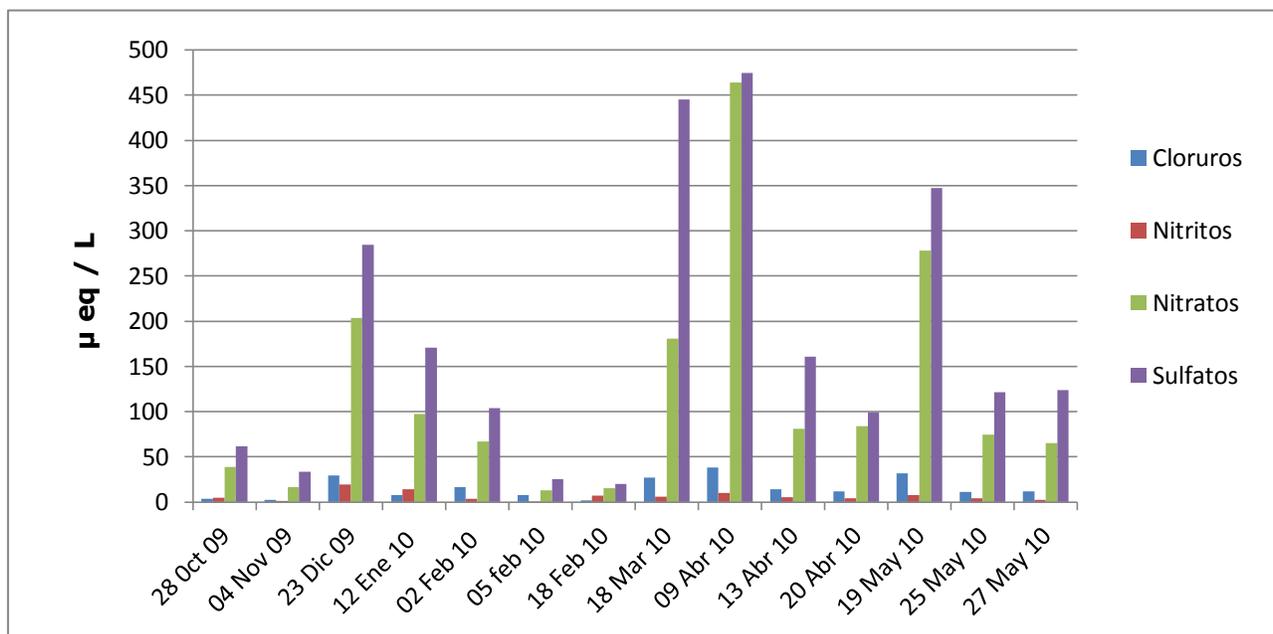


Figura 23 - Resultados del análisis químico de deposición húmeda en unidades de concentración ($\mu\text{eq} / \text{L}$) para NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} y Cl^- .

El día 19 de mayo presentó una alta concentración de estos iones, aunque ya se habían presentado varios eventos de precipitación, el lapso de tiempo que hubo entre el 20 abril y este, que es aproximadamente un mes (29 días) de acuerdo a los datos meteorológicos para estos meses, en su mayoría se tuvieron vientos en calma, lo cual influyo en que no hubiera un arrastre de los contaminantes originando que la concentración tuviera un aumento.

Durante los meses secos, se puede apreciar el aumento de estos contaminantes, siendo SO_4^{2-} y NO_3^- los predominantes en todo el periodo de muestreo. Siendo los cloruros, nitritos los de menor concentración. En los resultados obtenidos por el laboratorio de cromatografía los iones bromuros tanto para deposición húmeda como seca, estuvieron por debajo del límite de detección. La tendencia de estos contaminantes para deposición húmeda quedaría así: $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_2^-$.

Los iones nitratos y sulfatos son los principales involucrados en la formación de lluvia ácida, en las Figuras 24 y 25 se muestra una comparación grafica de pH contra la concentración de estos aniones. En Noviembre 2009 se presentó el evento con el pH más bajo (ver Figura 21), se puede observar que las concentraciones en esa fecha son altas, por su parte el mes de Abril de 2010, fue donde se presentaron los picos más altos y el valor de pH tuvo un valor de 6.4, se puede hacer la

suposición de una reacción de neutralización por una alta concentración de Cationes en la muestra. El análisis químico pertinente para la obtención de cationes no se realizó para este trabajo de tesis, pero esto puede sostenerse debido a otros estudios sobre depositación en donde se ha realizado la determinación de Cationes por cromatografía iónica, de donde las especies química presentes en las muestras han sido los siguientes iones: Ca^{2+} , NH_4^+ , Na^+ , Mg^{2+} y K^+ . De acuerdo con el *Informe Anual de la Calidad del Aire 2010* realizado por la SEMARNAT y el GDF los cationes con mayor concentración en la Cd. de México fueron Ca^{2+} y NH_4^+ .

El análisis de las muestras de depósito húmedo indicó que los iones nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), amonio (NH_4^+) y calcio (Ca^{2+}), son los más abundantes. Mientras que el cloruro (Cl^-), potasio (K^+), sodio (Na^+) y magnesio (Mg^{2+}) se encuentran en menor concentración. [SMA - GDF, et al 2010].

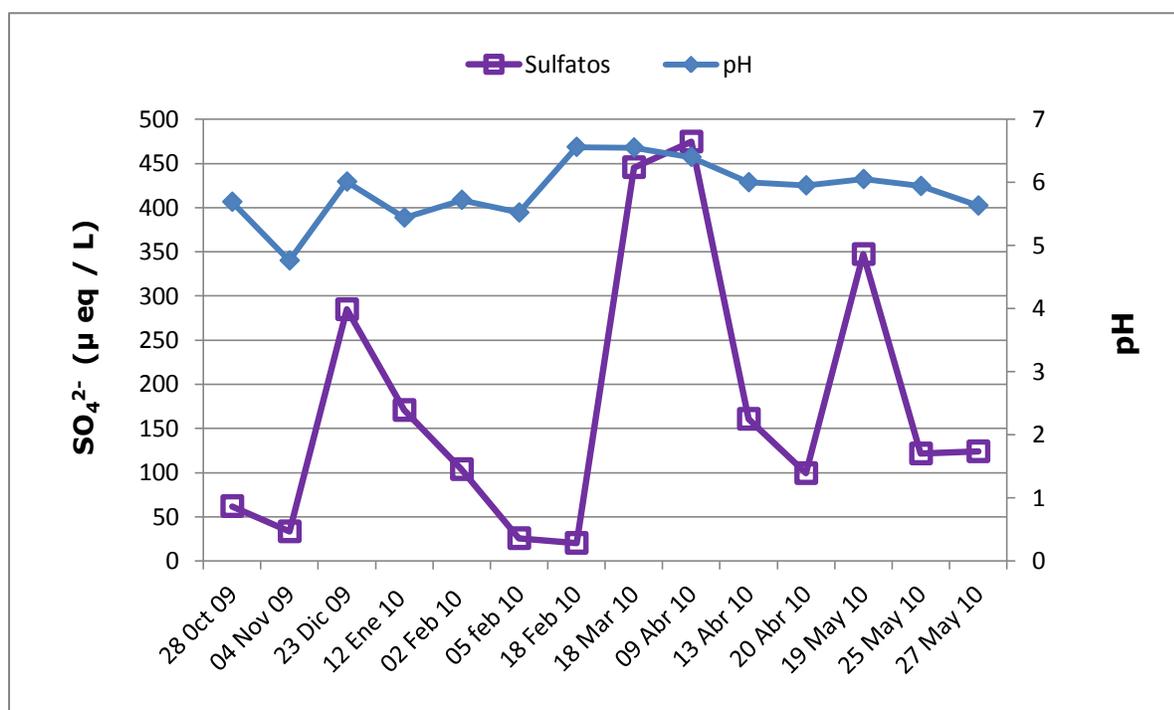


Figura 24 - Comparación de valores obtenidos de pH y Concentración de SO_4^{2-} en $\mu\text{eq/L}$

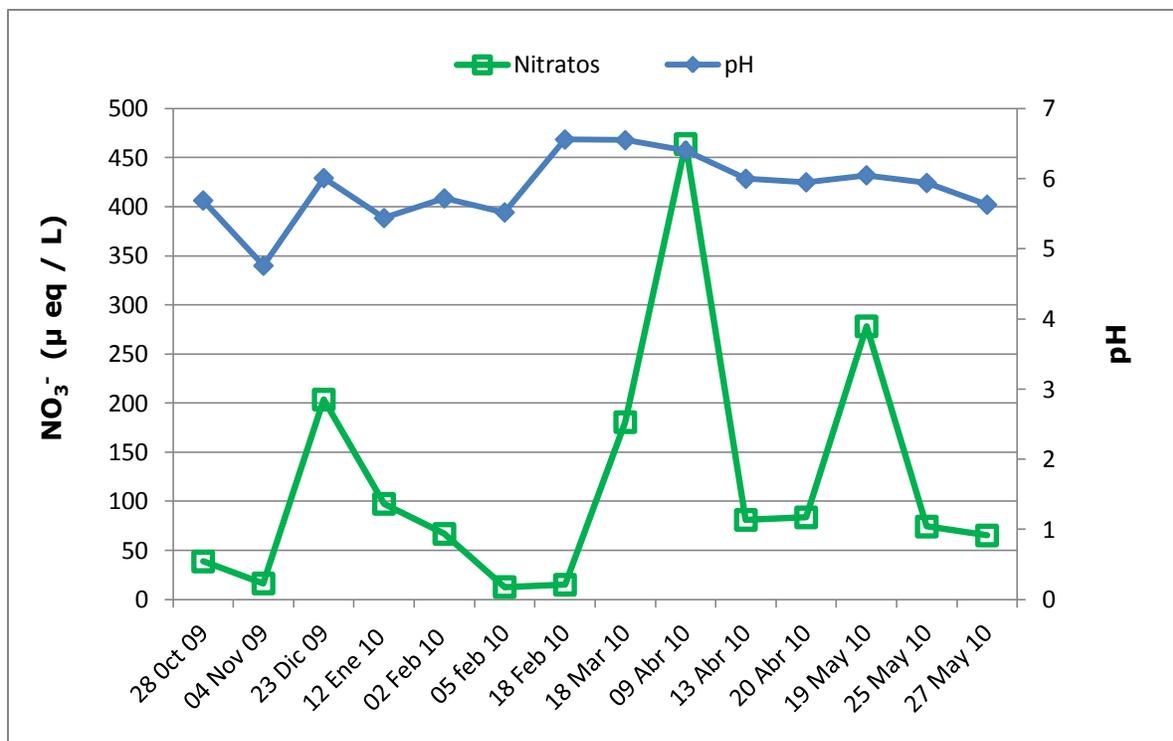


Figura 25 - Comparación entre los valores obtenidos de pH Concentración de NO₃⁻ en µeq/L

A continuación se presenta en la Tabla 8 una comparación entre resultados de otros estudios de depositación atmosférica en México y otros países del mundo.

La concentración de SO₄²⁻ obtenida (123.88 µeq/L) es significativamente alta, al compararla con los resultados obtenidos en otros estudios. La concentración de este ion se encontró por encima del valor observado en la misma región (Cd. de México) del año 2006 (76.6 µeq/L), en la India en 2007 (62.8 µeq/L) y Monterrey (96.7 µeq/L) en el mismo 2010.

Tabla 8 - Composiciones iónicas en deposiciones húmedas reportadas en otros estudios.

SITIOS	Dhanbad, india (Singh et al., 2007)	Cd. de México (Báez et al., 2006)	Atenas, Grecia (Nastos et al., 2007)	Monterrey, México (Ramírez, Facundo et al., 2010)	Presente estudio
pH	5.3	4.95	7.4	7.1	5.63
NO ₃ ⁻	10.2	42.8	59.6	59.4	65.2
SO ₄ ⁺²	62.8	76.6	246.7	96.7	123.88
Cl ⁻	27.4	9.29	141.3	47.5	11.5

Fuente: Avances y perspectivas de la Depositación ácida en México, Cerón 2012.

Del mismo modo la concentración de NO₃⁻ (65.2 µeq/L) es alta en comparación con los demás países, siendo que el reporte del Área Metropolitana de Monterrey (59.4 µeq/L) fue en el mismo año, puede deberse a que el sitio CENICA – UAM Iztapalapa tiene una significativa influencia de fuentes antropogénicas, siendo una posible razón de que las concentraciones de ambos iones sean altas. Este supuesto también se menciona en la literatura de la cual se obtuvo esta tabla, "en Grecia los niveles del anión SO₄²⁻ son superiores a los obtenidos en Monterrey (246.7 µeq/L), esto puede estar ligado a una influencia por fuentes antropogénicas" [Cerón, et al 2012].

4.2.2 Depositación seca.

La tabla 9, muestra los resultados del análisis químico de muestras de depósito seco, de donde las concentraciones más altas se presentaron entre los meses de Diciembre a Febrero, teniendo en el mes de Enero el valor más alto para el día 12, y aunque se hizo presente un evento de precipitación en su mayoría fue un mes seco. Siendo la concentración del ion SO₄²⁻ (5144.48 µeq/L) significativamente alta en comparación con todos los demás días de muestreo, además de ser el de mayor presencia en la duración de este estudio. Como en los casos de depositación húmeda, esto puede deberse a la gran influencia de fuentes antropogénicas cercanas al sitio de muestreo. Revisando las condiciones meteorológicas de el mes de Enero hubo un 17.0 % de ausencia de viento, eventos invernales y vientos de velocidades bajas provenientes mayormente del suroeste, por lo tanto puede suponerse que emisiones pertenecientes a esa área impactaron al sitio.

Tabla 9 - Resultados del análisis químico de depositación seca en unidades $\mu\text{eq/L}$.

CALCULOS - DEPOSITACION SECA ($\mu\text{eq/L}$) = (N)			
N	Cloruros	Nitratos	Sulfatos
1	153.6986	1470.4762	1300.4082
2	135.6164	1341.1111	1781.8367
3	210.1370	1815.7143	1772.6531
4	283.0137	1954.7619	1504.4898
5	274.5205	747.4603	1455.9184
6	210.4110	431.5873	681.0204
7	403.0137	699.6825	1325.5102
8	300.8219	637.1429	2251.4286
9	142.4658	196.3492	1157.9592
10	539.4521	1745.5556	5144.4898
11	130.4110	316.0317	630.8163
12	292.3288	984.4444	1011.8367
13	307.6712	461.2698	1923.8776
14	22.7397	103.0159	136.9388
15	21.6438	204.9206	87.5510
16	41.3699	116.6667	135.5102
17	20.5479	111.5873	136.5306
18	175.3425	430.1587	372.2449
19	36.7123	181.1111	206.9388
20	126.5753	1118.0952	407.9592
21	105.7534	292.2222	376.5306
22	75.8904	235.7143	259.1837
23	128.4932	467.1429	395.9184
24	251.5068	558.7302	521.6327
25	93.9726	710.4762	129.7959
26	53.4247	155.0794	102.8571
27	119.1781	11061.5873	307.9592
28	40.8219	578.7302	417.1429
29	84.1096	320.3175	266.3265

En el anexo D en la tabla 13 se muestra los mismos resultados en unidades de $\mu\text{g/filtro}$.

La figura 26, muestra gráficamente los resultados para tener una mejor percepción de los resultados. De donde como ya se menciono el 12 de Enero de 2010 tiene la concentración más alta de iones SO_4^{2-} .

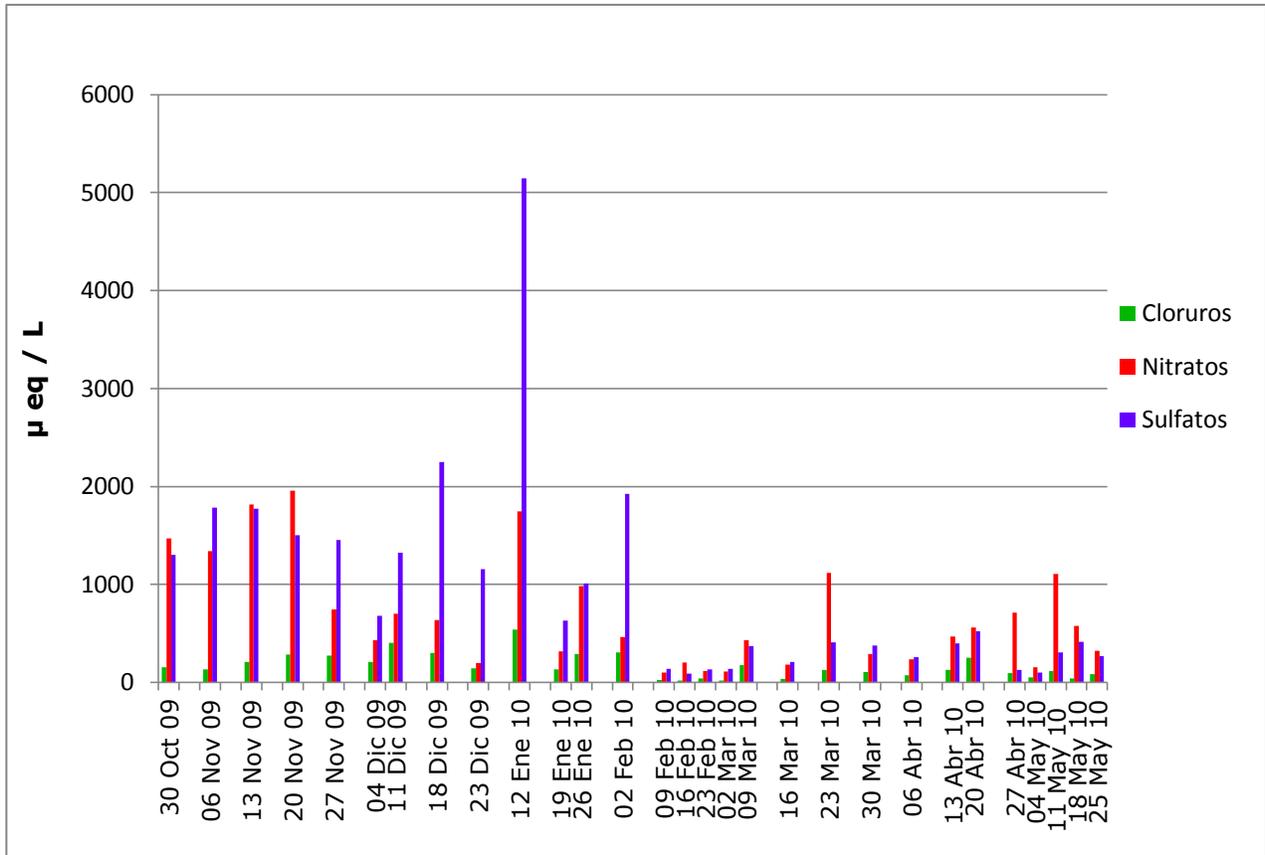


Figura 26 - Resultados del análisis químico de depositación seca en unidades de concentración ($\mu\text{eq/L}$) para NO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^- .

4.3 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Los datos meteorológicos se muestran en la Tabla 10, estos fueron obtenidos a través de la página de internet de la REDDA y la RAMA perteneciente al SIMAT. Los datos se muestran de manera ilustrativa para los días y hora de muestreo aplicados en este estudio, sin embargo para el análisis de las condiciones meteorológicas involucradas se tomaron en cuenta datos por hora de cada día en los meses del periodo de muestreo, estos pueden revisarse en la página de internet del SIMAT.

Tabla 10 - Parámetros Meteorológicos de las Fechas de muestreo.

N	Velocidad de Viento (m/s)	Dirección (GRADOS)	Precipitación* (mm)
1	1.1	75	7.6
2	2.4	5	0.7
3	3.6	167	8
4	0.8	327	5.8
5	0.7	260	1.1
6	0.3	29	0.2
7	3.7	195	2.6
8	1	13	9.2
9	1.1	187	6.8
10	0.7	46	2.7
11	1.4	90	2.6
12	0.6	320	2.2
13	1.5	12	2.4
14	0.7	1	0
15	0.5	55	8.5
16	1.2	5	2.1

**Estos datos fueron tomados de la estación de monitoreo de la DGCENICA, debido que las redes del GDF no contenían estos datos.*

En la Figura 27 se puede apreciar que la dirección predominante en la trayectoria del viento durante los 8 meses del periodo de muestreo está entre los 180 – 250° estos punto se encuentran en el suroeste. Durante el mes de Octubre y Noviembre 2009 presentaron vientos que vinieron de la dirección Noreste.

Las velocidades de viento predominantes que se presentaron en todo el periodo según la Figura 28, están entre 0.5 – 2 m/s. En los meses de Enero y Febrero hubo un incremento de estas velocidades que están entre los 3 – 4 m/s.

Con los datos anteriormente utilizados también se generaron Rosas de viento para una mejor comprensión de la influencia de estos parámetros meteorológicos en el estudio de la depositación atmosférica.

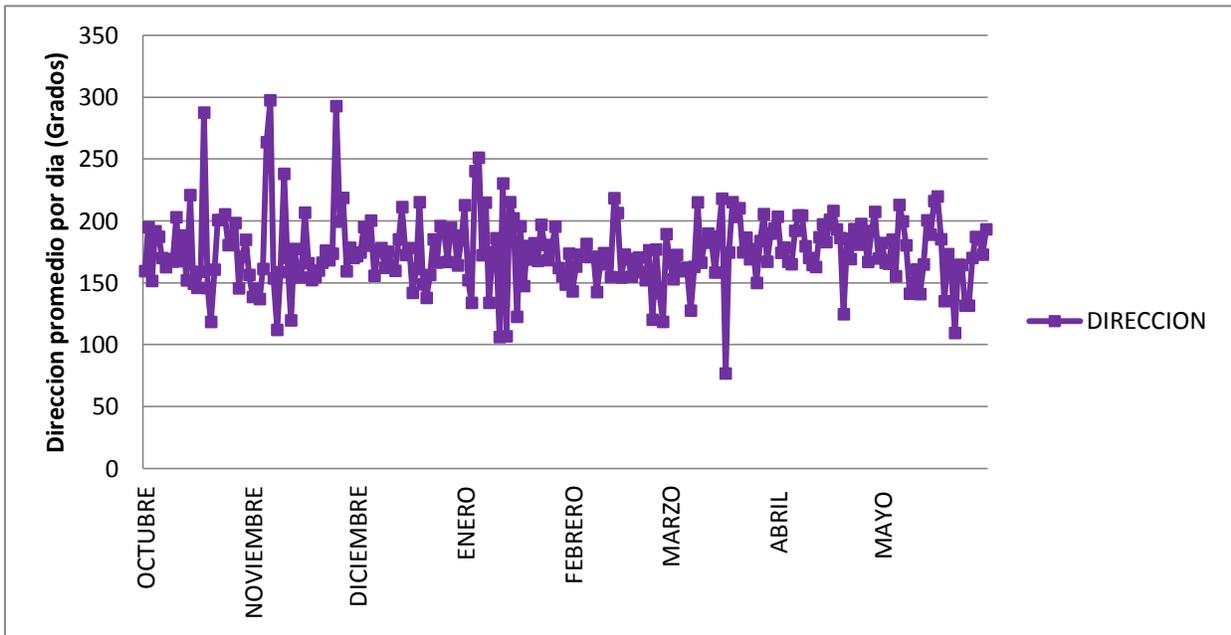


Figura 28 – Dirección promedio del viento por día a partir de los datos obtenidos de la estación Cerro de la Estrella de la REDDA para el periodo de muestreo de Octubre 2009 a Mayo 2010.

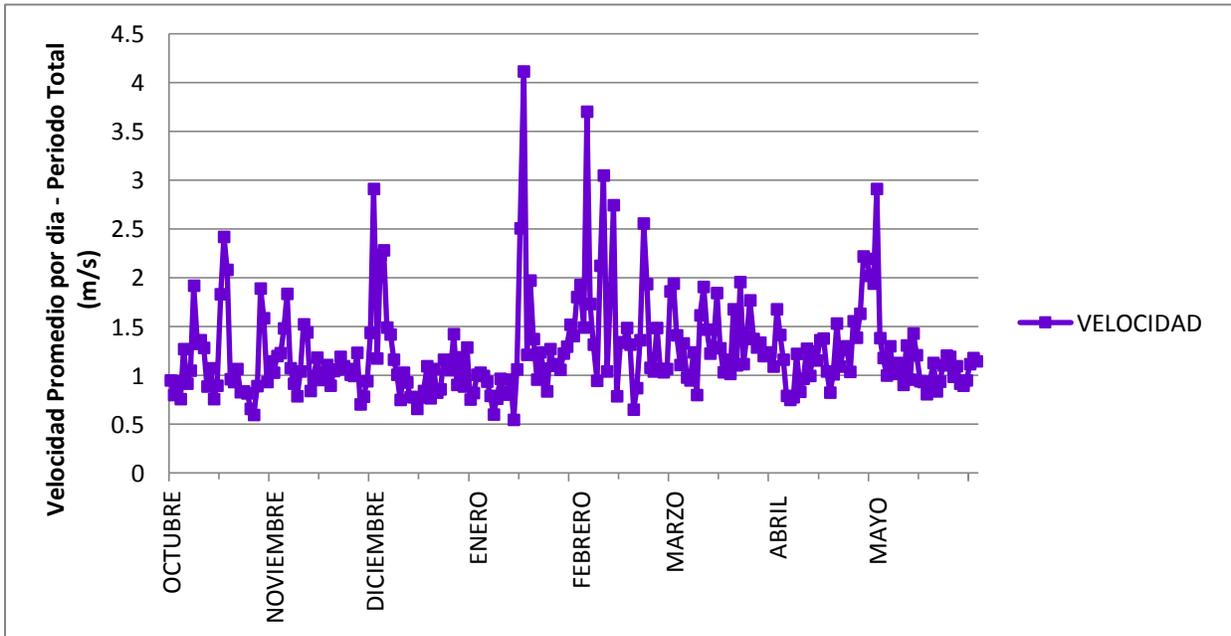


Figura 27 - Velocidad promedio del viento por día a partir de los datos obtenidos de la estación Cerro de la Estrella de la REDDA para el periodo de muestreo de Octubre 2009 a Mayo 2010.

4.3.1 Definición De Rosas De Viento

El viento es un elemento climatológico definido como "el aire en movimiento" y se describe por dos características: la velocidad y la dirección. Debido a esto es que se considera un vector con magnitud (dada por la velocidad) y dirección. Los meteorólogos crearon una gráfica llamada Rosa de los vientos que nos permite representar simultáneamente la relación que existe entre las características que componen el viento.

Una Rosa de viento cuenta con la siguiente información:

La Frecuencia de ocurrencia de los vientos en 16 sectores de dirección (Este (E), Este Noreste (ENE), Noreste (NE), Norte Noreste (NNE), Oeste (O), Oeste Noroeste (ONO), Noroeste (NO), Norte Noroeste (NNO), Este Sureste (ESE), Sureste (SE), Sur Sureste (SSE), Sur (S), Sur Suroeste (SSO), Norte (N), Oeste Suroeste (OSO), Suroeste (SO) y en clases de velocidad del viento para una localidad y un periodo de tiempo dado.

Además de:

- Identificación de la estación, mes y periodo de registro.
- Porcentaje de frecuencia de viento en calma.
- Esquema de colores usados para categorizar las velocidades del viento.

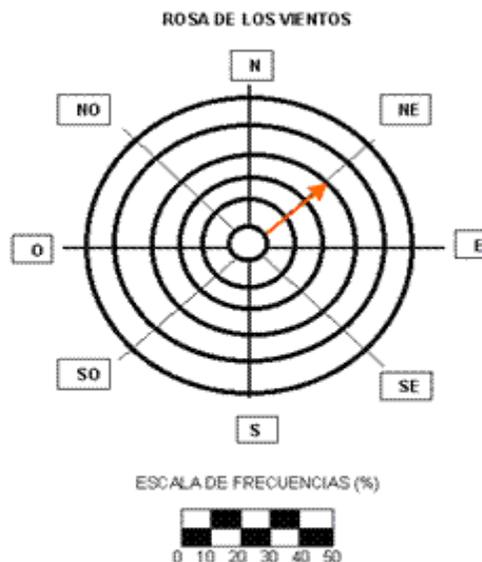


Figura 29 – Rosa de vientos y sus diferentes direcciones en coordenadas cardinales.

Cada una de estas subcategorías, se considera que deben cumplir dos requisitos:

- 1) Ser EXHAUSTIVAS, es decir, incluir todos los valores posibles
- 2) Y MUTUAMENTE EXCLUYENTES, esto es, que no exista confusión al momento de ubicar un valor dentro de esas clasificaciones; por lo que no debe existir traslape entre ellas [SINAICA- INE, et al 2009].

A partir de esta definición, se obtuvieron los datos de variables meteorológicas de la base de datos de la página web de la RAMA.

<http://www.calidadaire.df.gov.mx/> 03/Mar/2010

4.3.2 Rosas De Viento Para Este Estudio.

En el mes de Octubre mostrado en la Figura 30, se tuvieron vientos que provinieron mayormente de la dirección Norte Noroeste, su velocidad predominante estuvo entre 0.5 y 3.6 m/s.

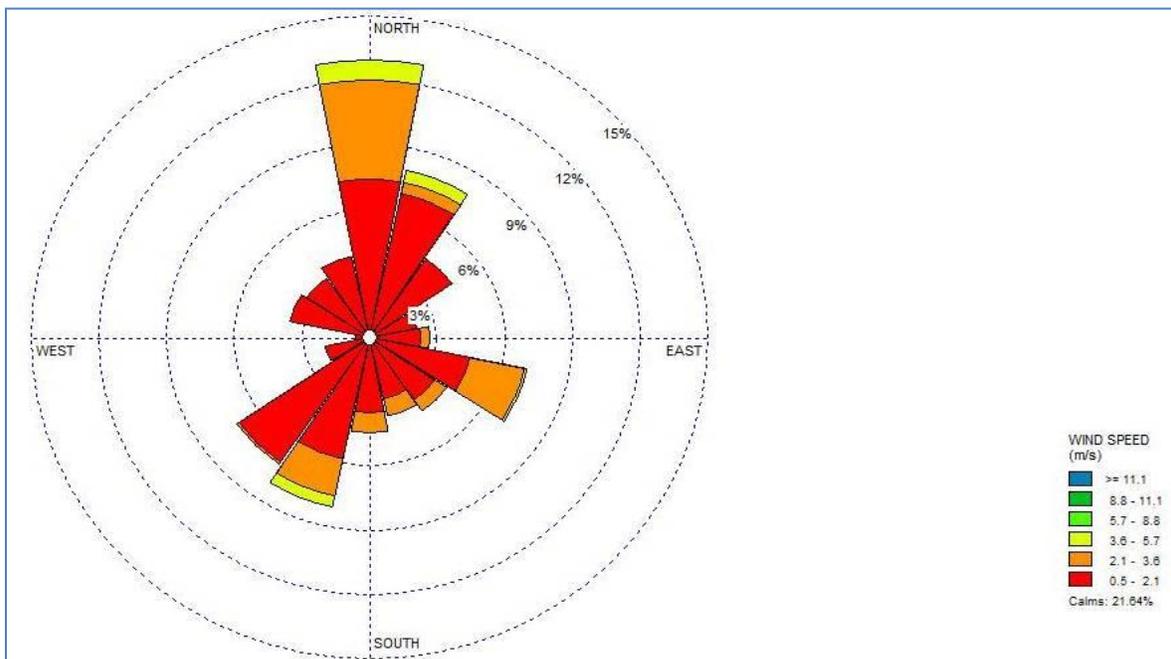


Figura 30 - Rosa de Viento para el Mes de Octubre 2009.

En Noviembre según lo reportado en la figura 31 al igual que en el mes anterior la dirección predominante en los vientos fue Norte Noreste, sin embargo en las velocidades reportadas, hubo una disminución ya

que la mayoría de los valores en estas fechas estuvieron entre el 0.5 y 2.1 m/s.

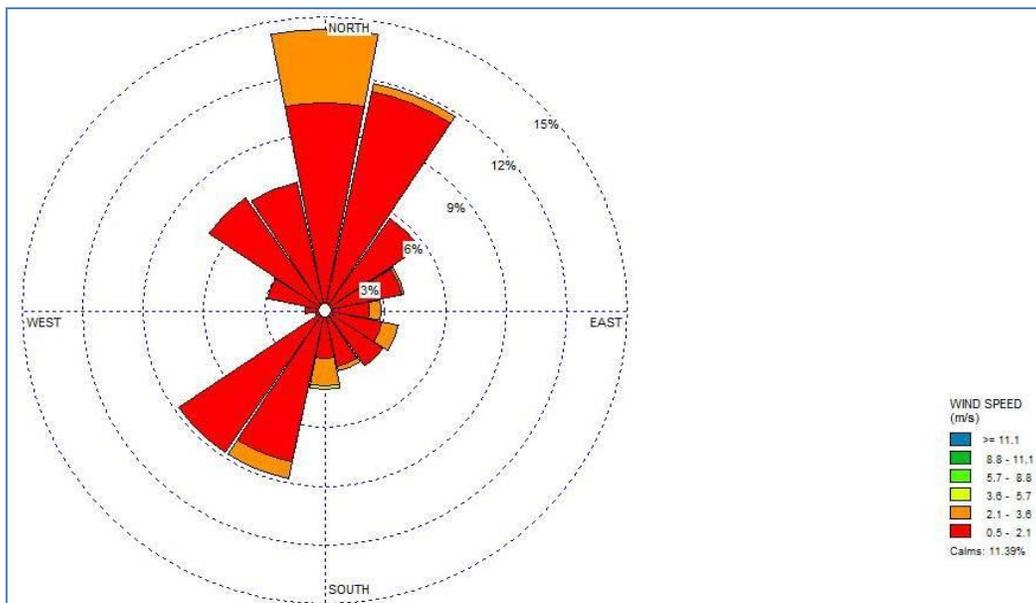


Figura 31 - Rosa de Viento para el Mes de Noviembre 2009

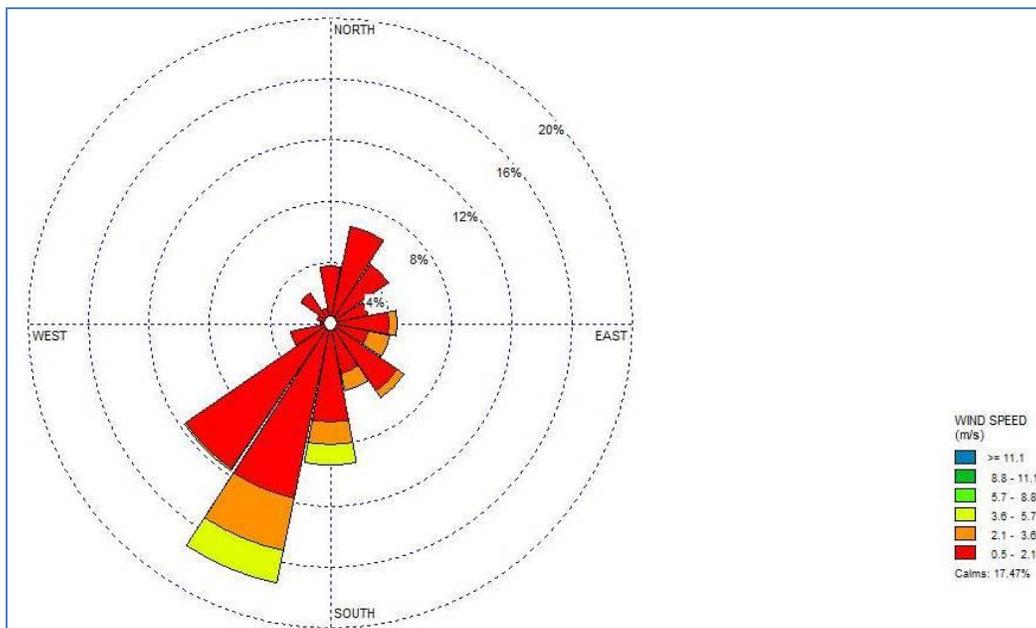


Figura 32 - Rosa de Viento para el Mes de Diciembre 2009

El mes de Diciembre mostrado en la figura 32 y el mes de Enero en la figura 33, se puede apreciar el cambio de dirección a comparación de Octubre y Noviembre, se presentaron vientos que vinieron de la dirección Suroeste mayormente, los valores de velocidad reportados estuvieron entre 0.5 y 2.1 m/s mayormente, sin embargo se reporto también un aumento que va de 2.1 a 5.7 m/s.

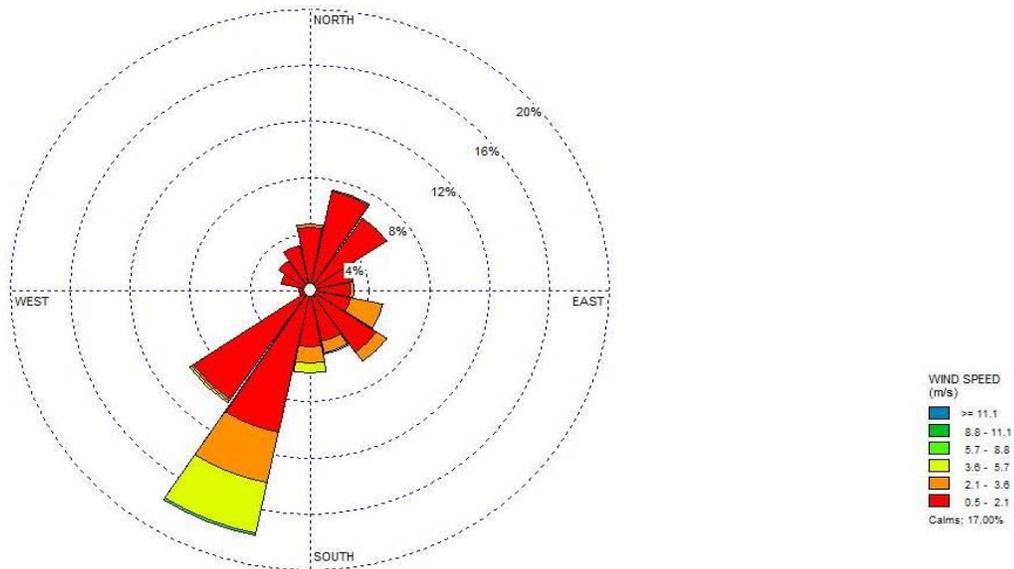


Figura 33 - Rosa de Viento para el Mes de Enero 2010

Durante el mes de febrero, en la figura 34, se muestra que se tuvieron vientos provenientes del Sur Suroeste y Sur Sureste en su mayoría, teniendo velocidades de viento entre 2.1 y 5.7 m/s.

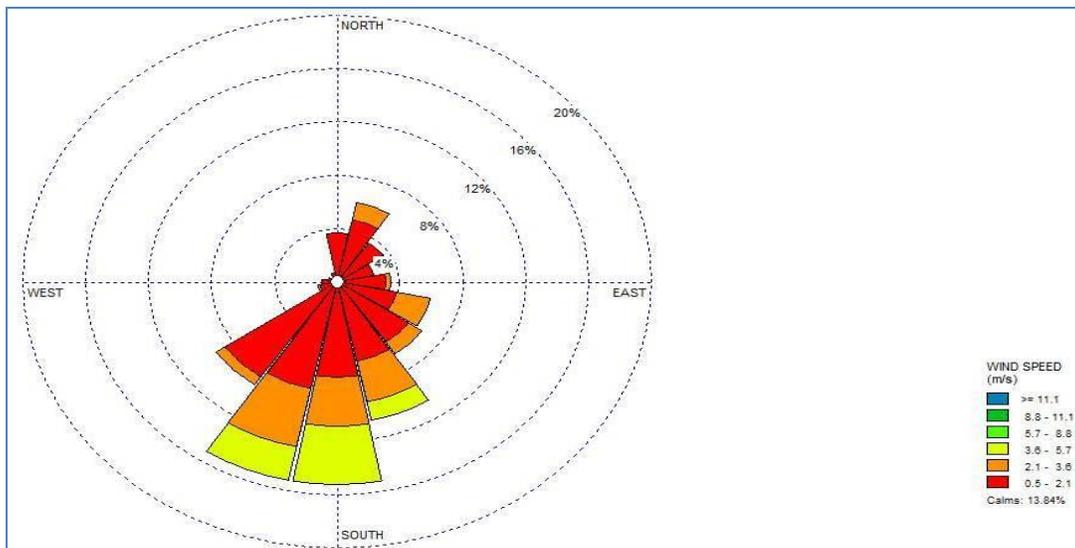


Figura 34 - Rosa de Viento para el Mes de Febrero 2010

En las figuras 35 y 36, que son los meses de Marzo y Abril respectivamente, se tuvieron vientos que mayormente provinieron del Suroeste, las velocidades estuvieron entre 0.5 y 5.7 m/s mayormente, y algunos vientos de velocidades más bajas (0.5 - 2.1 m/s) de las direcciones Sur Sureste.

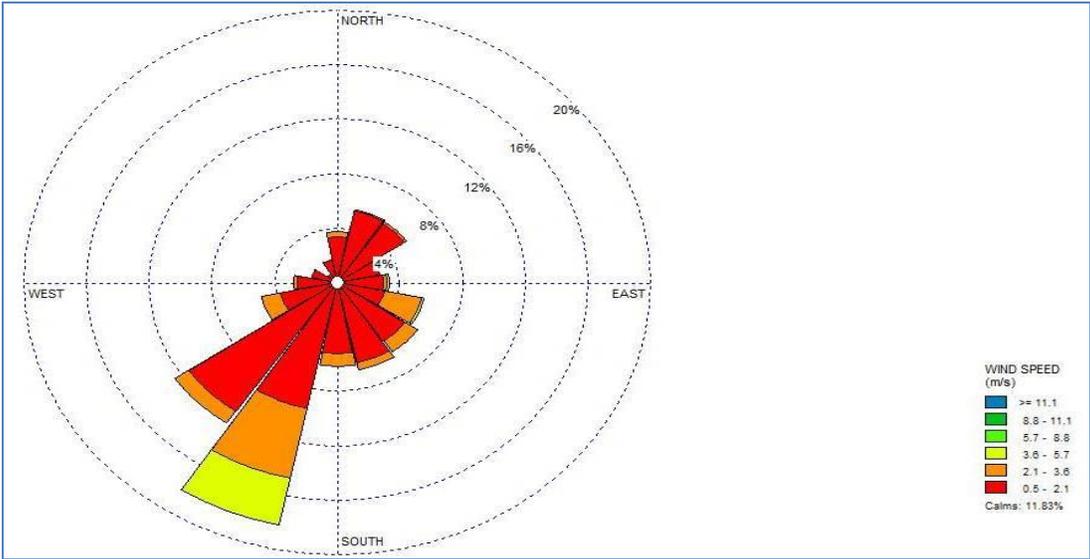


Figura 35 - Rosa de Viento para el Mes de Marzo 2010

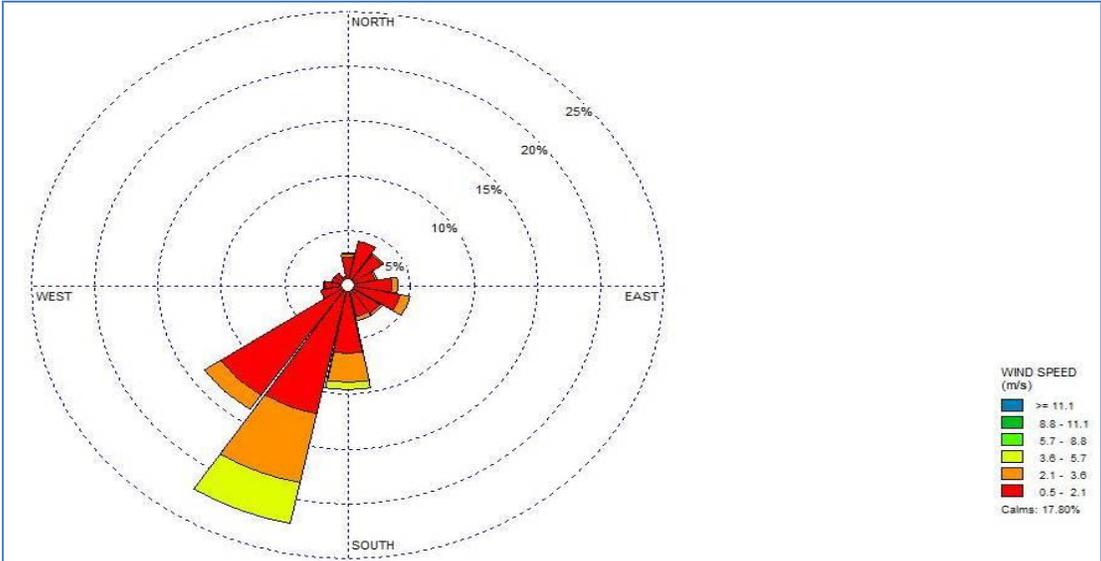


Figura 36 - Rosa de Viento para el Mes de Abril 2010

El mes de Mayo en la figura 37, presento vientos en diversas direcciones, las predominantes según lo reportado en la Rosa de vientos fueron Norte Noreste y Sur Suroeste. Con velocidades que estuvieron entre 0.5 y 2.1 m/s mayormente.

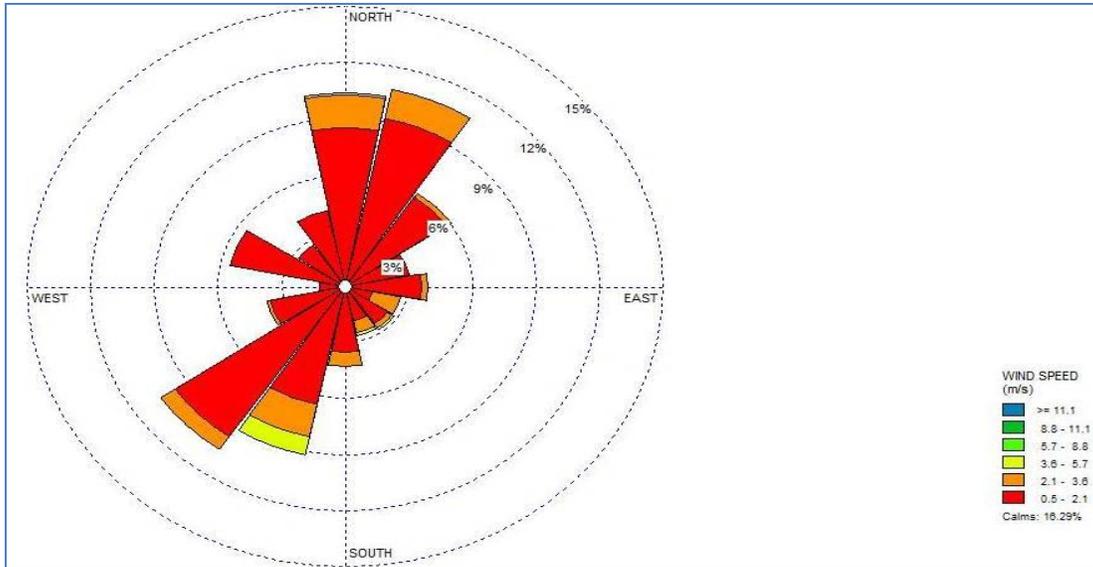


Figura 37 - Rosa de Viento para el Mes de Mayo 2010

De manera general el mes que presentó altas velocidades de viento con más frecuencia fue Febrero de 2010 en la Figura 34 (3.6 – 5.7 m/s), sin embargo Enero (Figura 33) aunque lo supera teniendo velocidades 5.7 – 8.8 m/s no predomina como en el mes consecutivo a este. Mientras que Octubre tuvo el 21.64% de calma, siendo el más alto porcentaje a lo largo de todo el periodo de estudio.

Por otra parte a partir del mes de Diciembre de 2009 (Figura 32) hasta Abril de 2010 (Figura 36), la dirección más frecuente de donde vinieron la mayoría de los vientos predominantes fue del Suroeste. Por lo cual se puede decir que la depositación sea húmeda o seca, se vio influenciada por fuentes de emisión que se encuentren en esa dirección. Caso muy diferente para Octubre a Noviembre de 2009, que sus vientos predominantes fueron el Norte y Noreste, por lo tanto los contaminantes de esa zona son los que influyeron mayormente en estos meses. Para el mes de Mayo, la influencia de contaminantes provino tanto del Norte Noreste y del Sur Suroeste.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES

El presente estudio de depositación se llevo a cabo en el sitio identificado como la DGCENICA, dentro de las instalaciones de la UAM – Iztapalapa, con el fin de representar al Distrito Federal en un proyecto por parte del INE y la UNACAR. Los datos resultantes, nos han permitido conocer el impacto de contaminantes atmosféricos e identificar las especies que influyen directamente en la zona de estudio.

Por medio de parámetros meteorológicos, se dieron a conocer los vientos dominantes dados su velocidad y dirección para identificar la ubicación de las probables fuentes emisoras. Ya que, aunque esta zona se encuentra específicamente dentro de la delegación Iztapalapa y sabiendo que está influenciada por diversas fuentes emisoras cercanas a ella, no se puede descartar la posibilidad de tener contaminantes de otras fuentes.

Con base a los objetivos planteados se pudo determinar qué:

Los datos medidos por el SMA, SIMAT, REDDA, Los valores de pH se mantuvieron por arriba del 5.6, por lo cual se puede decir que, de manera general durante el estudio, se tuvieron valores similares a lo reportado por estudios previos. También, la probabilidad de que estos valores se vieron influidos por reacciones de neutralización, debido a la existencia de especies catiónicas y aniónicas adicionalmente a las especies alcalinas que interactúan con las especies ácidas en el agua de lluvia.

En cuestión de la conductividad, puede afirmarse que, el proceso de Washout (Lavado de la atmósfera por medio de lluvia), arrastro los contaminantes en forma de depósito húmedo, ya que los días que hubo mayor volumen acumulado de agua de lluvia se obtuvieron los valores más altos de conductividad, dejando ver el arrastre de las especies químicas contenidas en la atmósfera.

Con respecto al análisis químico, los resultados nos permitieron identificar altas concentraciones de SO_4^{2-} y NO_3^- que se presentan en este sitio, esto puede deberse a que tiene una significativa influencia de fuentes antropogénicas como las móviles y las industrias, sin embargo se cuenta con establecimientos manufactureros, comerciales y de servicios que seguramente contribuirán con emisiones al sitio de estudio. Es importante mencionar que con base en las observaciones de las rosas de viento, es muy probable que se tenga un gran impacto de

las emisiones que vienen de las regiones del Suroeste del D.F. específicamente por fuentes móviles y transporte pesado, también cabe destacar que en esta zona se encuentra la salida hacia la carretera México Cd. de Puebla, así como el anillo periférico de la Cd. de México. Y la central de abasto del Distrito Federal, así como el área conurbada que limita al Distrito Federal con el Edo. de México donde el transporte pesado circula de manera continua por la zona.

De acuerdo a los resultados, de forma general, nos muestran que en comparación al año 2006 se puede considerar de manera solo puntual que ha habido un aumento en la concentración de los iones SO_4^{2+} , NO_3^- y Cl^- . En los pH leídos se presentaron valores con tendencias hacia la basicidad, esto nos permite sugerir que hay una significativa presencia de cationes y especies alcalinas que pueden estar dentro del material orgánico. Es importante contrastar respecto a al estudio realizado en la ciudad de Monterrey que en el mismo año 2010 las concentraciones de los aniones en el sitio de CENICA también son mayores, como se menciona anteriormente lo que puede deberse a la gran influencia de fuentes móviles y algunas industrias pequeñas. Monterrey en contraste sus emisiones son en su gran mayoría industrias grandes.

Con respecto a la cantidad de precipitación, los días que se presentó mayor concentración de iones, fueron en los de menor cantidad de agua de lluvia. Mientras que los días donde se tuvieron mayor cantidad, fueron en el mes de Febrero de 2010, las concentraciones disminuyeron, así se puede afirmar la influencia del efecto de dilución de iones en las muestras.

En los resultados del análisis químico de depositación seca, los meses de temporada seca como Diciembre, Enero y los inicios de Febrero antes de los eventos de lluvia atípica, se tienen los valores de concentración más altos obtenidos a lo largo del periodo. En el mes de Enero se presentó el punto más alto de concentración de iones SO_4^{2+} y NO_3^- , la rosa de viento de ese mes nos permitió ver velocidades bajas, por lo cual no influyo significativamente el arrastre del viento en la depositación seca de los contaminantes.

De acuerdo a lo anterior podemos concluir que el aporte que nos brindan las Rosas de viento obtenidas a partir de las variables meteorológicas de velocidad y dirección. Ya que estas nos ayudan a identificar la influencia que tienen especies químicas que son originarias de fuentes emisoras que no se encuentran cercanas al sitio de estudio, si no que por arrastre del viento son llevadas hasta él. De este modo se

puede saber qué tipo de fuentes son las que están afectando nuestros resultados, específicamente para este sitio. La rosa de vientos del sitio CENICA para ese periodo nos indico que la dirección viene en su gran mayoría del Suroeste de la región.

Por último se puede afirmar que la metodología propuesta en el "*Estudio piloto para la operación de la Red Mexicana de Depositación Atmosférica*" es eficiente,; de acuerdo con otros estudios presentados dentro del libro "*Avances y perspectivas de la depositación acida en México*" fueron en términos generales aceptables ya que, al realizarse los procedimientos de la forma indicada los resultados fueron similares variando únicamente en las concentraciones de las especies químicas, lo cual como ya se discutió anteriormente dependen de las fuentes de emisión, ya sean naturales o antropogénicas que impactan la zona de muestreo. Finalmente se concluye de este estudio que, la depositación atmosférica es un problema que tiene repercusiones, si no se monitorea de manera continua, sobre todo en México, de igual forma a nivel mundial como ya se menciono, no solo afecta a los lagos, bosques, suelos, sino también a los materiales de construcciones antropogénicas y de manera muy importante la salud humana. Es importante hacer una difusión acerca de este tipo de estudios y que se realicen, no solo en la Cd. de México, si no en toda la Republica Mexicana.

RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo de la presente tesis, se observaron algunas fallas metodológicas y de procedimiento que se recomienda se puedan modificar, a continuación se mencionan:

- Mejorar la rejilla para los filtros de depositación seca. Ya que durante el periodo de muestreo, a causa de vientos que entraban en la cubeta, los filtros se salían de la rejilla y por lo tanto había pérdida de muestra.
- Lavar periódicamente la cubeta de contención de depositación seca, ya que el procedimiento del "*Estudio piloto para la operación de la Red Mexicana de Depositación Atmosférica*" no lo recomienda.
- Minimizar la perdida de muestra de depositación húmeda por evaporación. Ya que entre una colecta y otra, si hay altas

temperaturas presentes tiende a disminuir el nivel de agua originalmente acumulado.

- Antes de cualquier muestreo verificar que se cuenta con los equipos adecuados en buenas condiciones.
- Antes de cualquier muestreo verificar que se cuenta con los equipos adecuados en buenas condiciones.
- Elaborar una etiqueta con formato claro y definido que sea el mismo para todas las muestras.

REFERENCIAS

1. Bravo, H.A; Soto, R.A; Sosa, R; Sanchez, P; Alarcon, A.L; Kahl, J; Ruiz, B. 2006 "Effect of acid rain on building material of the "El Tajín" archaeological zone in Veracruz, México." Environmental Pollution 144(2) 655-660.
2. Cerón, R.M.; Cerón, J. G.; Cárdenas, B; Basaldud, R; Ortínez, J. A.; "Estudio piloto para la operación de la Red Mexicana de Depositación Atmosférica – Informe final", INE –UNACAR, 2010.
3. Cerón, R.M.; Cerón, J. G.; Guerra, J. J.; "Avances y perspectivas de la depositación ácida en México", UNACAR, 1era Edición, 2012. Págs. 36. 49; 56, 59.
4. Cerón, Cárdenas, Basaldud, Ortínez, Cruz, Diaz, Carballo, Perez, Reyes, Muriel, Guerra; 2012, "On the dry deposition of ionic species at two National Parks located in the vicinity of power plants in Mexico", México.
5. Charlson, R. J.; Rhode, H., 1982, "Factors controlling the acidity of natural rainwater", Nature. Págs. 295:667-73.
6. Environment Agency, Government of Japan. Acid deposition monitoring network in East Asia –Achievements of the expert meetings- 1997. Pág. 1
7. García de Marina Bayo, A; Yusa Marco, D.J.; "HPLC fundamental". Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, Fac. de Bellas Artes, Depto. De conservación y restauración de bienes culturales, 2008. Págs. 128 – 131; 133.
8. Haddad, P.R. y Jackson, P.E.; "Ion Chromatography, Principles and applications". Elsevier, Amsterdam, 1990.
9. Herrera Tolama, C. Adriana, "Evaluación de la deposición húmeda en la Costa del Golfo de México para el periodo 2003- 2005" México, D.F., Tesis de licenciatura, Fac. Química, UNAM, 2007. Pág. 1.
10. J. Glynn Henry and Gary W. Heinke, "Environmental Science and Engineering", Prentice Hall, Inc. 1989.

11. Mackenzie L. Davis; David A. Cornwell; *"Introduction to environmental engineering"*, New York, NY; McGrawHill, 2008. Págs. 552 – 576.
12. Miller, Tyler G. Jr.; *"Introducción a la Ciencia Ambiental desarrollo sostenible de la Tierra, un enfoque integrado"*, España, 5ª Edición, Editorial Thomson, 2002. Págs. 316- 321.
13. NAPAP, *"National Acid Precipitation Assessment. Program Acidic Deposition: State of Science and Technology"*, Report on the NAPAP International Conference. Hilton Head, S.C. 1990
14. Padilla Gordon, H.P. ; *"Determinación del pH de la precipitación pluvial en el Valle de México y zonas circundantes : Principales mecanismos de formación de la lluvia ácida"* , México D.F. , Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM, 1985. Págs. 3 – 18; 54 -58.
15. Secretaria del Medio Ambiente, Gobierno del D.F. *"Informe Anual del Programa de Precipitaciones Ácidas en la ZMCM-1998"*.
16. Secretaria del Medio Ambiente, Gobierno del D.F. *"Programa de Precipitación Ácida en la ZMCM- Informe Anual 1999"*.
17. Secretaria del Medio Ambiente, Gobierno del D.F. *"Calidad del aire en la Ciudad de México - Informe 2008"*. Pág. 72; 89-93.
18. Secretaria del Medio Ambiente, Gobierno del D.F. *"Calidad del aire en la Ciudad de México - Informe 2009"*. Pág. 132.
19. Secretaria del Medio Ambiente, Gobierno del D.F. *"Calidad del aire en la Ciudad de México - Informe 2010"*. Págs. 92 -96.
20. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th edition, 1989. Edited by Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Trussel, R.R. APHA-AWWA-WPCF, Washington D.C. pags. 2-60
21. Sylvie B., CCA – Comisión para la Cooperación Ambiental, *"Compendio somero de datos nacionales y regionales de fuentes e iniciativas de monitoreo ambiental y humano en Canadá, Estados Unidos y México"*, Octubre 2009.

22. UNIPUB, "*Acid Rain and Transported Air Pollutants*"; Office of Technology Assessment Congress of the United States, Washington, D.C. 1985.
23. http://www.cec.org/Storage/35/2619_SOE_AcidDep_es.pdf
"*El mosaico de América del Norte: panorama de los problemas ambientales más relevantes: Deposición ácida.*" 27/Oct/2011
24. <http://www.ine.gob.mx/dgcenica/pnma.html> 09/Feb/2010
25. <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/9056a.pdf>, consultado el 13 /Abr/ 2012.
26. http://www.meteor.iastate.edu/gccourse/acid/acid_lecture_es.html
I "*Deposición ácida*" Eugene S. Takle, 1998. Consultado el 01/Jun/2011
27. <http://nadp.sws.uiuc.edu/sites/ntnmap.asp> 10/Oct/2011
28. http://sinaica.ine.gob.mx/rosa_de_viento.html 20/sep/2012

ANEXOS

ANEXO A – Matriz completa de parámetros de Evaluación de sitios que conformarán la red de monitoreo.

Tabla 11 - Parámetros de Evaluación para los 4 sitios de la Red de monitoreo.

Criterio a Evaluar	SITIO 1: El Chico, Hidalgo	SITIO 2: Hampolol, Campeche	SITIO 3: CENICA –UAM Iztapalapa, Distrito Federal	SITIO 4: Monterrey, Nuevo León
Representatividad regional.	✓	✓	✓	✓
Impacto mínimo de fuentes locales o puntuales.	✓	✓		
Formas prevalecientes de precipitación y frecuencia de eventos de precipitación.	✓	✓	✓	✓
Representatividad de ecosistemas.	✓	✓		
Probabilidad de daño en regiones ecológica protegidas.	✓	✓		
Representatividad de niveles de fondo.	✓	✓		
Infraestructura necesaria disponible.	✓	✓	✓	✓
Personal de apoyo disponible.	✓	✓	✓	✓
Cumple con las distancias establecidas en cuanto a la existencia de fuentes de emisión ubicadas viento arriba.	✓	✓	✓	✓
Potencial de cambio en el uso de suelo.	✓	✓	✓	✓
Información meteorológica disponible.	✓	✓	✓	✓
Accesibilidad.	✓	✓	✓	✓
Seguridad.	✓	✓	✓	✓
Cumple con los requerimientos regionales.	✓	✓	✓	✓
Cumple con los requerimientos locales.	✓	✓	✓	✓

ANEXO B – Lista de materiales utilizados en los procedimientos de muestreo.

Por regla de seguridad del laboratorio de “Fisicoquimicos” de la DGCENICA e higiene en la aplicacion los procedimientos, se deberá usar siempre

- Guantes
- Bata de algodón

a) Material del Procedimiento Para La Limpieza De Contenedores De Muestras De Depositación Húmeda Y Seca.

- Bolsas de plástico re-sellables
- Botellas de polipropileno o de polietileno de alta densidad (hdpe) de 500 mL para el almacenamiento y muestreo en campo.
- 2 Cubetas de plástico con un volumen aproximado de 12 litros.
- Bolsas de plástico
- Toallas de papel absorbente para tareas delicadas.
- Agua desionizada
- Papel aluminio
- Jabón liquido libre de fosfatos
- Alcohol etílico.
- Toallas de Papel absorbente.
- Pisseta con agua desionizada

b) Material Del Procedimiento De Muestreo De Depositación Húmeda Y El Análisis Fisicoquímico.

- Colector húmedo/Seco para depositación atmosférica
- Cubeta de plástico de aproximadamente 12 litros
- Pisseta con agua desionizada (Ver figura 37)
- Lata de aire comprimido
- Termómetro graduado (100°C)
- Botellas de muestreo de 500 mL.
- Papel aluminio
- Bolsas de plástico re-sellables

- Embudo
- Probeta de 250, 500 y 1000 mL
- Vasos de precipitado de 30 mL y 10 mL
- Potenciómetro para medición de pH y conductividad (μS)
- Buffers para pH = 4.01 y pH = 7.00. (Figura 38)
- Toallas de papel absorbente para tareas delicadas.
- Etiquetas adheribles para identificación de las muestras.
- Pluma y plumón negro.
- Bitácora.

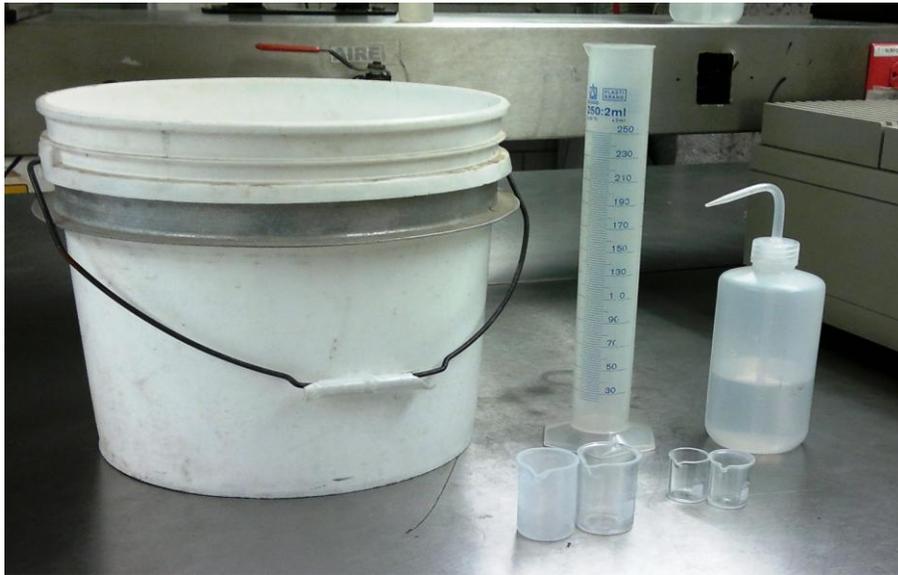


Figura 38 - Material utilizado durante los muestreos de deposición húmeda. Cubeta contenedora, Probeta 250 mL, Vasos de precipitado 30 y 10 mL; piseta con agua desionizada.



Figura 39 - Buffer para Calibración de pH. Marca Fermont. pH = 7.00 y pH = 4.01

c) Material Del Procedimiento De Muestreo De Depositación seca.

- Cubeta de plástico de aproximadamente 12 litros.
- Gradilla de aluminio para 3 filtros.
- Filtros de Nylon de 47 mm de diámetro y tamaño de poro de 1 μm .
- Cajas petri de plástico
- Papel aluminio.
- Pinzas para filtro.
- Alcohol etílico.
- Etiquetas adheribles para identificación de las muestras.
- Utensilios de limpieza para el uso exclusivo del material (esponja, cepillo de lavado, jabón libre de fosfatos).
- Toallas de papel absorbente para tareas delicadas.⁷
- Pluma y plumón negro.
- Bitácora.

d) Casos particulares de este muestreo

- **Colectar 2 filtros de 3 ó 1 filtro de 3.**
 1. Realizar el muestro en la misma forma que describen los pasos 7-18, haciendo dos excepciones, la primera en el paso 15 con respecto a la numeración de los filtros colectados (1, 2, 3).
Ejemplo:

Para solo 2 filtros colectados:

No. Identificación y tipo de muestra: DS-01
Añadir número de filtro: DS-01-1; DS-01-2.
 2. *La segunda excepción en el paso 16 con respecto al filtro numero 3. No se entrego filtro para ese muestreo particular.*
 3. *Escribir en la bitácora la razón de la perdida.*

⁷ Kimiwipes: Toallas de papel higiénicas exclusiva para uso de laboratorio debido a que no deja residuos o pelusa como el papel higiénico común.

- **Sin filtros.**

1. *Repetir el muestreo, y registrar en la bitácora los motivos de esta perdida.*

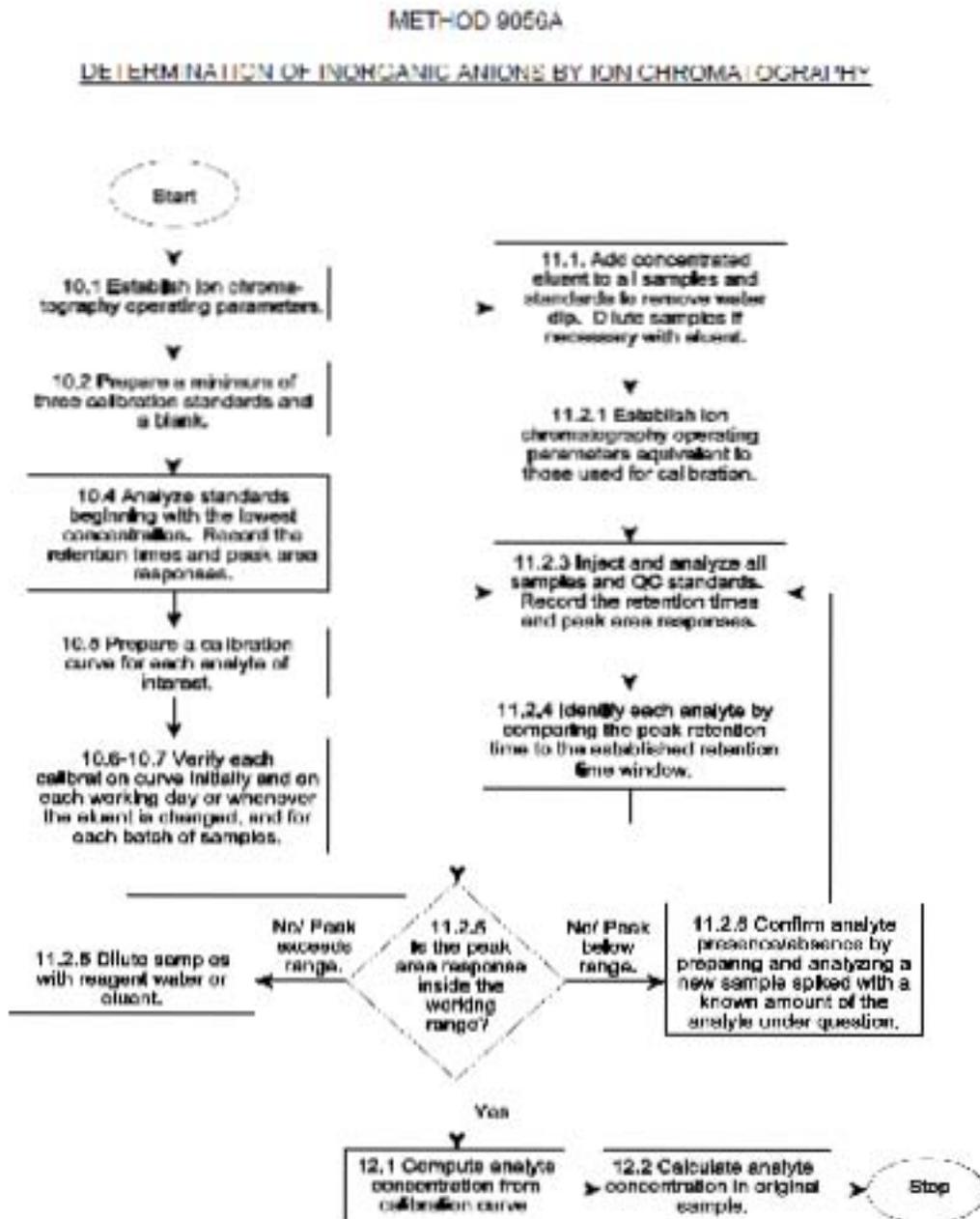
- **Filtros húmedos.**

Durante el muestreo realizado para esta tesis, este caso solo se dio una sola vez, debido a la gran cantidad de precipitación y humedad presente en el ambiente, esto provoco que los filtros no se secan completamente. Pero se adjuntan los pasos para dicho caso:

1. Realizar el muestro en la misma forma que describen los pasos 7-18. Haciendo una pausa antes del paso 14.
2. Retirar los filtros y colocar cada uno en su respectiva caja petri sin cerrarla, dejar los filtros a la intemperie máximo 1 hora⁸. Esto es para eliminar por ventilación la mayor cantidad de agua del filtro.
3. Continuar con los pasos siguientes hasta finalizar y registrar en la bitácora este caso particular.

⁸ De preferencia no exceder de los 30 min para evitar errores en el análisis químico, pero al haber tanta humedad en el ambiente, se dejo este cantidad de tiempo (1 hora) arriesgándonos a tener errores en la medición, sin embargo fue un solo caso el que se presentó durante toda la campaña de muestreo.

ANEXO C – DIAGRAMA DE FLUJO EN INGLES DEL MÉTODO EPA 9056 A.



ANEXO D – DATOS RESULTANTES DEL ANÁLISIS QUÍMICO DEL PERIODO DE MUESTREO OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE CROMATOGRAFÍA DE LÍQUIDOS DE LA DGCENICA.

Deposición húmeda

Tabla 12 - Resultados del Análisis químico de Deposición húmeda.

MUESTRA				RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS DE LABORATORIO - DH (mg/L) = (µg/mL)			
N	Muestra	Día	Hora	Cloruros	Nitritos	Nitratos	Sulfatos
1	DH - 12	28/oct/09	14:15	0.13	0.23	2.44	3.03
2	DH - 14	04/nov/09	14:30	0.08	0.07	1.03	1.63
3	DH - 16	23/dic/09	12:35	1.07	0.9	12.83	13.95
4	DH - 18	12/ene/10	16:00	0.28	0.65	6.14	8.36
5	DH - 20	02/feb/10	14:20	0.59	0.16	4.21	5.08
6	DH - 22	05/feb/10	13:15	0.27	0.04	0.8	1.25
7	DH - 24	18/feb/10	15:00	0.07	0.33	0.95	0.99
8	DH - 26	18/mar/10	13:00	0.98	0.29	11.38	21.83
9	DH - 28	09/abr/10	14:00	1.39	0.48	29.23	23.25
10	DH - 30	13/abr/10	15:00	0.52	0.26	5.11	7.87
11	DH - 32	20/abr/10	13:05	0.43	0.19	5.27	4.86
12	DH - 34	19/may/10	13:05	1.16	0.35	17.53	17.01
13	DH - 36	25/may/10	14:15	0.4	0.19	4.68	5.95
14	DH - 38	27/may/10	12:45	0.42	0.12	4.11	6.07

Deposición seca

Tabla 13 - Resultados del Análisis químico de Deposición Seca.

MUESTRA				RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS DE LABORATORIO - DS (µg/filtro)		
No. De Muestra	No. de filtros totales	Día	Hora	Cloruros	Nitratos	Sulfatos
DS -07	1	30/oct/09	14:35	3.35	43.77	31.72
	2			2.26	48.87	32
DS -08	1	06/nov/09	14:00	2.62	49.69	44.43
	2			2.33	34.8	42.88
DS -09	1	13/nov/09	15:30	4.23	62.48	44.87
	2			3.44	51.91	41.99
DS -10	1	20/nov/09	14:20	5.49	61.48	37.63
	2			4.84	61.67	36.09
DS -11	1	27/nov/09	13:30	4.37	19.33	36.97
	2			5.65	27.76	34.37
DS -12	1	04/dic/09	13:15	7.68	27.19	33.37
DS -13	1	11/dic/09	13:40	8.09	19.23	35.15
	2			6.62	24.85	29.8
DS -14	1	18/dic/09	11:00	5.89	19.66	56.72
	2			5.09	20.48	53.6
DS -15	1	23/dic/09	12:30	2.12	7.63	27.37
	2			3.08	4.74	29.37

DS -16	1	12/ene/10	16:00	9.92	57.54	130.02
	2			9.77	52.43	122.06
DS -17	2	19/ene/10	15:45	4.76	19.91	30.91
DS -18	1	26/ene/10	13:40	5.2	33.56	23.89
	2			5.47	28.46	25.69
DS -19	1	02/feb/10	14:20	5.69	17.03	46.86
	2			5.54	12.03	47.41
DS -20	1	09/feb/10	14:30	0.83	6.49	6.71
DS -21	1	16/feb/10	14:40	0.79	12.91	4.29
DS -22	1	23/feb/10	13:15	1.51	7.35	6.64
DS -23	1	02/mar/10	13:15	0.75	7.03	6.69
DS -24	1	09/mar/10	15:00	4.72	16.28	10.1
	2			1.68	10.82	8.14
DS -25	1	16/mar/10	14:55	0	3.61	2.84
	2			1.34	7.8	7.3
DS -26	1	23/mar/10	15:00	2.68	51.09	10.62
	2			1.94	19.35	9.37
DS -27	1	30/mar/10	12:45	2.06	9.66	9.88
	2			1.8	8.75	8.57
DS -28	1	06/abr/10	14:55	1.43	7.87	6.54
	2			1.34	6.98	6.16
DS -29	1	13/abr/10	15:00	4.69	29.43	19.4
DS -30	1	20/abr/10	13:05	4.98	16.68	13.99
	2			4.2	18.52	11.57
DS -31	1	27/abr/10	14:40	3.43	44.76	6.36
DS -32	1	04/may/10	15:00	1.95	9.77	5.04
DS -33	1	11/may/10	14:15	4.35	696.88	15.09
DS -34	1	18/may/10	13:00	1.49	36.46	20.44
DS -35	1	25/may/10	14:15	3.07	20.18	13.05

**ANEXO E – MEMORIA DE CALCULO PARA LA CONVERSIÓN DE
UNIDADES DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO
(mg/L) a $\mu\text{eq/L}$ ó ($\mu\text{g/mL}$) a $\mu\text{eq/L}$**

Calculo de μeq y Normalidad (N) a partir de los datos resultantes del análisis químico de las muestras de depositación atmosférica.

Ejemplo

Concentración de iones cloruros en 10 mL de muestra húmeda.

Cantidad inicial de la muestra = 0.13 mg/L = 0.13 $\mu\text{g/mL}$

1) Convertir a μg

Volumen (V) = 10 mL

$0.13 \mu\text{g/mL} \times 10 \text{ mL} = 1.30 \mu\text{g}$

2) Convertir los μg a g.

$1\text{g} = 1000 \text{ mg} = 1000\,000 \mu\text{g}$

$1.30 \mu\text{g} \times (1\text{g} / 1000\,000 \mu\text{g}) = 0.0000013 \text{ g}$

1.31

3) Obtener el Peso Equivalente (P.E.)

Formula

$$\text{P.E.} = \frac{\text{Peso formula (Peso Molecular)}}{\# \text{ de Partículas intercambiadas}}$$

El ion Cl^- proviene de la molécula contenida en medio ácido que es HCl (Ácido Clorhídrico).



Peso Molecular $\text{HCl} = \text{P.M.}_{\text{HCl}} = 36.5 \text{ g/mol}$

En un mol de HCl están contenidos 36.5g y 1 mol de H^+ por cada molécula de HCl disuelta en agua. Por lo tanto el número de partículas intercambiadas es 1 equivalente (1 eq).

$$\text{P.E.} = 36.5 \text{ g} / 1 \text{ eq} = 36.5 \text{ g/eq}$$

4) No. de equivalentes de soluto (Cl^-)

Formula

$$\# \text{eq} = \frac{\text{Peso del Solute}}{\text{Peso equivalente (P.E.)}}$$

Peso del Solute: 0.0000013 g

P.E. = 36.5 g/eq

$$\# \text{eq} = \frac{0.0000013 \text{ g}}{36.5 \text{ g/eq}} = 3.56164 \times 10^{-8} \text{ eq}$$

5) μeq y Normalidad (N)

Convertimos los eq a μeq

$$1 \text{ eq} = 1000 \text{ meq} = 1000 \ 000 \ \mu\text{eq}$$

$$(3.56164 \times 10^{-8} \text{ eq}) \times (1000 \ 000 \ \mu\text{eq} / 1 \text{ eq}) = 0.0356164 \ \mu\text{eq}$$

Formula

$$N = \frac{\# \text{ de Equivalentes de soluto}}{\text{Litro de disolucion}}$$

$$V = 10 \text{ mL} = 0.01 \text{ L}$$

$$\# \mu\text{eq} = 0.0356164 \mu\text{eq}$$

$$N = \frac{0.0356164 \mu\text{eq}}{0.01 \text{ L}} = 3.56 \mu\text{eq/L} = 3.56 \text{ N}$$

Este procedimiento de cálculo se aplico para todos los resultados obtenidos en los análisis químicos considerando los diferente Pesos Equivalentes de cada uno enlistados en la siguiente tabla.

Tabla 14 - Pesos equivalentes de los aniones involucrados en el análisis químico.

VALORES DE PESOS EQUIVALENTES DE LA ESPECIES ANALIZADAS				
MOLÉCULA INICIAL	PESO MOLECULAR (g/mol)	ESPECIE QUÍMICA EN DISOLUCIÓN (anión)	PARTÍCULAS INTERCAMBIADAS (e-)	PESO EQUIVALENTE (g/mol)
HBr	80.9	Br ⁻	1	80.9
HCl	36.5	Cl ⁻	1	36.5
HNO ₂	47	NO ₂ ⁻	1	47
HNO ₃	63	NO ₃ ⁻	1	63
HSO ₄	98	SO ₄ ²⁻	2	49

ANEXO F – PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR UNA SOLUCIÓN DE CALIBRACIÓN ESTÁNDAR PARA CONDUCTIVIDAD ELECTROLÍTICA.

Tabla 15 - Conductividad de soluciones de Cloruro de potasio (KCl) a 25°C

Concentración (M)	Conductividad equivalente (mS/cm/eq)	Conductividad (µS/cm)
0	149.85	
0.0001	149.43	14.94
0.0005	147.81	73.90
0.001	146.95	147.0
0.005	143.55	717.8
0.01	141.27	1413
0.02	138.34	2767
0.05	133.37	6668
0.1	128.96	12900
0.2	124.08	24820
0.5	117.27	58640
1	111.87	111900

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th edition, 1989.

Para calcular la conductividad de la solución:

$$K = c\lambda 10^3$$

Donde:

K es la conductividad medida en $\mu\text{S}/\text{cm}$

λ es la conductividad equivalente en $\text{mS}/\text{cm}/\text{eq}$.

y c es la concentración equivalente (concentración molar de KCl)

CÁLCULOS PARA CANTIDAD INICIAL DE KCl, PARA SOLUCIONES STOCK I, II Y III.

La base para iniciar estos cálculos fue el error en la toma de conductividad de estas soluciones y verificar la conductividad dada para cada una de sus concentraciones en este manual.

STOCK I

$$C = 0.050 \text{ M KCl}$$

$$\text{P.M. de KCl} = 74.55 \text{ g/mol}$$

$$V = 1 \text{ L}$$

$$0.05 \text{ M/ } 1\text{L} = 0.05 \text{ mol} * 74.55 \text{ g/mol} = 3.72 \text{ g}$$

STOCK II

$$C = 0.500 \text{ M KCl}$$

$$\text{P.M. de KCl} = 74.55 \text{ g/mol}$$

$$V = 1 \text{ L}$$

$$0.5 \text{ M/ } 1\text{L} = 0.5 \text{ mol} * 74.55 \text{ g/mol} = 37.2 \text{ g}$$

STOCK III

$$C = 0.100 \text{ Molar (M) KCl}$$

$$\text{P.M. de KCl} = 74.55 \text{ g/mol}$$

$$V = 1 \text{ L}$$

$$0.1 \text{ M/ } 1\text{L} = 0.1 \text{ mol} * 74.55 \text{ g/mol} = 7.455 \text{ g}$$