



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**“ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LLUVIA EN LA
LOCALIDAD DE LA VENTA HUIMANGUILLO TABASCO”**

TRABAJO RECEPTACIONAL BAJO LA MODALIDAD DE:

TESIS

PRESENTA:

BLANCA LOPEZ SALAZAR

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRIA EN INGENIERIA Y PROTECCION AMBIENTAL

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. EBELIA DEL ÁNGEL MERAZ

Villahermosa, Tabasco

Julio, 2015



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN



MARZO 12 2015

C. BLANCA LÓPEZ SALAZAR
PAS. DE LA MAESTRIA EN INGENIERIA Y PROTECCION
AMBIENTAL
P R E S E N T E

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ingeniería y Protección Ambiental titulado: **“ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LLUVIA EN LA LOCALIDAD DE LA VENTA HUIMANGUILLO, TABASCO”** asesorado por la Dra. Ebelia del Ángel Meraz, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por al Dr. Arturo Valdés Manzanilla, Dr. Raúl German Bautista Margulis, Dra. Ebelia del Ángel Meraz, M. en C. Carlos Alberto Torres Balcázar, MIPA. Sergio Ramos Herrera

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo

Consortio de
Universidades
Mexicanas
UNA ALIANZA DE CALIDAD POR LA EDUCACIÓN SUPERIOR

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400, Fax (993) 354-4308 y 358-1579 E-mail: direccion.dacbiol@ujat.mx
Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

UJAT
DIVISION ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

DIRECCION

CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **"ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LLUVIA EN LA LOCALIDAD DE LA VENTA HUIMANGUILLO, TABASCO"**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 12 de Marzo de 2015.

AUTORIZO



BLANCA LÓPEZ SALAZAR



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**



Villahermosa, Tab., a 12 de Marzo de 2015

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza a la **C. BLANCA LÓPEZ SALAZAR** egresada de la Maestría en **INGENIERIA Y PROTECCION AMBIENTAL** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **"ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LLUVIA EN LA LOCALIDAD DE LA VENTA HUIMANGUILLO, TABASCO"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E

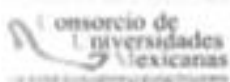
**M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



DIRECCION

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALDOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400, Fax (993) 354-4368 y 358-1579 E-mail: direccion.dacbiol@ujat.mx
Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y desperdicio de agua y ayuda a conservar los bosques

DEDICATORIAS

En primer lugar **a Dios** todopoderoso, gracias señor por escucharme, iluminarme y guiarme siempre en todo momento, dándome las fuerzas necesarias superando todos los obstáculos a lo largo de toda la vida y poder así culminar una de mis metas.

A ti Alejandro (†) porque has estado ahí en todo momento en cada paso firme que doy en mi largo andar por la vida, fuiste mi guía e inspiración en realizar una de nuestras metas donde quiera que estés te llevare en mi corazón ...

A Mis padres

Edmundo y Guadalupe, por brindarme todo su amor, educación e inculcándome valores, gracias por su apoyo, comprensión así como sus sabios consejos que me inspiran a ser mejor y seguir adelante. Dios los bendiga les de salud y vida para poder compensarles lo mucho que me han dado, los amo es de ustedes este logro.

A Hermanos y sobrinos:

Lalo, Garo, Chela, Huicho, Ney y Meny gracias por contar con su apoyo, comprensión y darme su cariño los quiero mucho. A todos mis sobrinos que con su entusiasmo me dan alegría y fortaleza para seguir superándome día a día.

Amigos

En especial a ti por brindarme ese amor incondicional, transmitirme seguridad y llegar en el momento adecuado y necesario, gracias por formar parte de sus vidas y poder compartir momentos felices y tristes, recuerden que siempre los llevare en mi corazón, la vida está llena de detalles.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesores, **Dra. Ebelia del Ángel Meraz** y **Dr. Arturo Valdés Manzanilla**, por su apoyo y tiempo brindados en todo momento, así como su paciencia y por compartir su conocimiento y experiencia profesional. Ya que sus consejos y sugerencias hicieron posible este trabajo.

A mis Revisores de Tesis e integrantes de mi jurado:

Dr. Arturo Valdés Manzanilla, Dra. Ebelia del Ángel Meraz, M en C. Reyna Lourdes Fócil Monterrubio, Dr. Raúl German Bautista Margulis, Dr. Carlos Alberto Torres Balcázar.

Gracias por sus sabios consejos y apoyo, por el tiempo dedicado en la revisión de esta tesis, así como por sus correcciones y sus valiosas sugerencias, las cuales contribuyeron sin duda a mejorar la calidad de este trabajo.

Sin olvidar a todos mis maestros de MIPA, la Mtra. Claudia Zenteno y al Dr. José Ramón Laines Canepa quienes me brindaron la oportunidad de ingresar a MIPA e influyeron con sus experiencias, contribuyendo en mi formación académica y poder así alcanzar esta meta.

Al Instituto Tecnológico Superior de Villa la Venta por apoyar desde un principio mi posgrado y brindarme la oportunidad de crecimiento, contribuyendo en mi desarrollo profesional.

Lista de Figuras.

Figura 1: Imágenes de descarga de gases a la atmósfera de la Procesadora de Gas La Venta. Fuente: López, 2011.	7
Figura 2: El ciclo del agua. Unidades de los depósitos en moles, flujo en mol año^{-1}	19
Figura 3: El ciclo de la lluvia ácida. (Aouragh, 2002.).....	22
Figura 4: Ciclo del oxígeno. (Aouragh, 2002.)	23
Figura 5: Ciclo del nitrógeno. Fuente: Química, 2000.	24
Figura 6: Ciclo del azufre. (Aourang, 2002).....	29
Figura 7: Localización de la Venta, Huimanguillo, Tabasco.	41
Figura 8: Vista satelital del Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta	45
Figura 9: Vista general del pH-metro, Marca Conductronic.....	46
Figura 10: Vista general del pH-metro, Marca Conductronic.....	47
Figura 11: Análisis de cloruros por el método argentométrico.....	48
Figura 12: Espectrofotómetro, Marca HACH DR 2700.....	48
Figura 13: Comportamiento del pH (septiembre 2011- febrero 2012).....	51
Figura 14: pH promedio mensual.	52
Figura 15: Comparación de pH en diferentes ciudades.....	53
Figura 16: Comportamiento de conductividad (septiembre 2011- febrero 2012)..	55
Figura 17: Conductividad promedio mensual.	56
Figura 18: Comportamiento de los cloruros (septiembre 2011 a febrero 2012). ..	58
Figura 19: Cloruro promedio mensual.	59
Figura 20: Comportamiento de sulfatos (septiembre 2011 a febrero 2012).	61
Figura 21: Sulfatos promedios mensuales.	61
Figura 22: Comportamiento de Nitratos (septiembre 2011 a febrero 2012).	63
Figura 23: Nitratos promedios mensuales.	64
Figura 24: Parque vehicular de La Venta, Huimanguillo, Tabasco.....	66
Figura 25: Comportamiento de Bicarbonatos (septiembre 2011 a febrero 2012)..	66
Figura 26: Bicarbonatos promedios mensuales.	67
Figura 27: Relación de los bicarbonatos y carbonatos con el pH.....	92

Figura 28: Curva de calibración para Nitratos.	95
Figura 29: Curva de calibración para sulfatos.	96

Lista de Tablas.

Tabla 1: Valores de pH del agua de lluvia registrados en 1986-1987.	11
Tabla 2: Valores de potencial de Hidrogeno (pH) registrados en diferentes lugares.	13
Tabla 3: Fuentes de óxidos de nitrógeno (NOX). (Stocker & Vie le Sage, 1982). .	26
Tabla 4: Efectos del NO ₂ en la salud. (Kenneth, 1998).	27
Tabla 5: Efectos del SO ₂ en la salud (Galloway et al., 1998).....	30
Tabla 6: Toneladas de bióxido de carbono en Tabasco. (Semarnat, 2011).	31
Tabla 7: Vehículos de motor registrados en circulación en La Venta, Tabasco. ...	44
Tabla 8: pH promedio mensual.	53
Tabla 9: Conductividad promedio mensual en (μS/cm).	56
Tabla 10: Concentración de Cloruros promedio mensual en (ppm).	59
Tabla 11: Concentración de sulfatos (promedio mensual en ppm).	62
Tabla 12: Concentración de Nitratos (promedio mensual en ppm).	64
Tabla 13: Concentración de Bicarbonatos (promedio mensual en ppm).	68
Tabla 14: Datos del promedio semestral de los análisis fisicoquímicos del agua de lluvia de La Venta, H., Tabasco (agosto 2011-febrero 2012).	69
Tabla 15: Datos del promedio de los análisis fisicoquímicos del agua de lluvia de La Venta, H., Tabasco (Agosto 2011-Febrero 2012).....	94
Tabla 16: Datos de la curva de calibración para Nitratos.	95
Tabla 17: Datos de la curva de calibración para sulfatos.	96
Tabla 18: Datos de los análisis fisicoquímicos de los eventos de lluvia en La Venta H. Tabasco Septiembre 2011-Febrero 2012.	97
Tabla 19: Datos promedio de los análisis fisicoquímicos de los 23 eventos de lluvia en La Venta H. Tabasco Septiembre 2011-Febrero 2012.	99

CONTENIDO

Lista de Figuras.	VII
Lista de Tablas.	VIII
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
JUSTIFICACIÓN	6
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
ANTECEDENTES	9
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	16
1.1. La Atmósfera.	16
1.2. Agua.	17
1.3. El ciclo del agua.	18
1.4. Lluvia ácida.	21
1.5. Ciclo del Oxígeno.	22
1.6. Ciclo de Nitrógeno.	23
1.6.1. Óxidos de Nitrógeno (NO_x).	24
1.6.2. Fuentes de emisión del NO_2 .	25
1.6.3. Efectos que provoca el NO_2 sobre el medio ambiente.	25
1.6.4. Efectos que provoca el NO_2 en la salud.	27
1.7. El ciclo del azufre.	28
1.7.1. Efectos que provoca sobre el medio ambiente el SO_2 .	29
1.7.2. Efectos que provoca el SO_2 en la salud.	29
1.8. Dióxido de carbono CO_2 .	30
1.9. Reacciones de la formación de la lluvia ácida.	32
1.9.1. El ciclo de reacciones.	33
1.10. Efectos potenciales de la lluvia ácida.	34
1.10.1. Efectos en los ecosistemas acuáticos.	35
1.10.2. Efectos en suelos y vegetación.	36
1.10.3. Efectos en las infraestructuras.	37
1.10.4. Alternativas de solución de la lluvia ácida.	37
1.10.5. Medidas de control de la lluvia ácida.	38
1.10.6. Los ácidos biogeoquímicos en nuestra vida cotidiana.	39
1.11. Dispersión de contaminantes.	40
1.11.1. Factores meteorológicos.	40

CAPITULO II. METODO	41
2.1. Área de estudio.	41
2.1.1. Clima.	41
2.1.2. Temperatura.	42
2.1.3. Precipitación anual.	42
2.1.4. Humedad relativa.	42
2.1.5. Recursos Naturales.	42
2.1.6. Fuentes móviles.	43
2.2. Localización del sitio de estudio.	44
2.3. Muestreo y caracterización fisicoquímica de la lluvia.	45
2.4. Técnicas de análisis de laboratorio.	46
2.4.1. Determinación de pH.	46
2.4.2. Determinación de la conductividad.	46
2.4.3. Determinación de cloruros (Cl^-).	47
2.4.4. Determinación del ión sulfato (SO_4^{-2}).	48
2.4.5. Determinación del ión nitrato (NO_3^-).	49
2.4.6. Determinación de carbonatos (CO_3^-) y bicarbonatos (HCO_3^-).	49
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSION	50
3.1. Potencial de Hidrógeno (pH).	50
3.2. Conductividad eléctrica (C. E).	55
3.3. Cloruros (Cl^-).	57
3.4. Sulfatos (SO_4^{-2}).	60
3.5. Nitratos (NO_3^-).	63
3.6. Bicarbonatos (HCO_3^-) y Carbonatos (CO_3^-).	66
CONCLUSIONES	70
LITERATURAS CITADAS	73
ANEXOS	84

RESUMEN

Los efectos generados por la industrialización y el del crecimiento poblacional presenta condiciones adversas en la composición fisicoquímica de la precipitación pluvial, de tal forma que para poder determinar el impacto de fuentes antropogénicas y naturales sobre la composición del agua de lluvia en una región específica se requiere conocer las características de precipitación que permitan la identificación de fuentes de contaminación. Este trabajo realizo la caracterización fisicoquímica de la lluvia en una zona tropical húmeda de La Venta, Huimanguillo, Tabasco durante un periodo de seis meses (agosto 2011 a febrero 2012). De 51 muestras de lluvia analizadas, se encontraron fluctuaciones significativas en los valores del potencial de hidrógeno (pH), 20 muestras registraron pH en el rango de 4.0 a 5.0 (39.21%), 19 muestras registraron pH en el rango de 5.0 a 6 (37.25%) y 12 muestras registraron pH en el rango de 6 a 7 (23.52%). La conductividad de las muestras mostraron valores en el rango de 6.6 a $76 \pm 9.78 \mu\text{S/cm}$, por lo tanto nos indica que existe una alta concentración de sales en el agua de lluvia. Los resultados del ion cloruro presentaron valores en el rango de 3.54 al 35.45 ± 5.05 ppm, los cuales nos indican la influencia de aportes del NaCl, provenientes del Golfo de México. Así mismo se obtuvieron resultados de nitratos de 0.2 a 6.525 ± 1.67 ppm, cabe señalar que los nitratos están relacionados a fuentes de origen antropogénico afín a las emisiones generadas por industrias petroquímicas que se ubican en la zona de estudio. En las concentraciones del ión sulfato se encontraron valores de $0.04\text{-}0.99 \pm 0.09$ ppm, el sulfato se relaciona con los contaminantes emitidos por las instalaciones petroleras, así como los bicarbonatos registraron valores en el rango de $0.1\text{-}0.2 \pm 0.10$ ppm, las concentraciones de este ión son debido a las aportaciones de CO_2 , que se produce durante la fotosíntesis de las plantas.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la sociedad enfrenta serios problemas de contaminación y deterioro ambiental debido a actividades antropogénicas, producto de la explotación extensiva e intensiva de los recursos naturales y la enorme cantidad de sustancias contaminantes arrojadas a la atmósfera, en donde ocurren diferentes procesos químicos, que pueden cambiar la forma y toxicidad de los contaminantes del aire. Algunos de estos contaminantes se disuelven en el vapor de las nubes o en las gotas de lluvia, siendo este un mecanismo natural de limpieza debido a la remoción de compuestos atmosféricos solubles, generando en consecuencia precipitaciones ácidas, a lo que se denomina lluvia ácida (Jacinto, 2001).

La lluvia ácida es un fenómeno característico de atmósferas contaminadas, se identifica cuando el pH de agua de lluvia es inferior a 5.6 unidades, se dice que de una manera natural el bióxido de carbono del aire al disolverse en el agua de la atmósfera, produce una solución ligeramente ácida que disuelve con facilidad algunos minerales y sus precursores, son el bióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno procedentes fundamentalmente de la quema de combustibles fósiles. Estos gases son oxidados en la atmósfera, reaccionan químicamente con el vapor de agua, la radiación solar y otras sustancias de la atmósfera para formar ácidos sulfúrico (H_2SO_4) y nítrico (HNO_3), dos ácidos fuertes que cuando caen a la superficie mezclados con el agua de lluvia producen una disminución en el pH de la lluvia por debajo de 5.0, lo cual es conocido como lluvia ácida (SMA, 1998).

Iwasaka & Minoura en el año de 1996, mencionaron que incluso en regiones no sometidas a la contaminación industrial, la humedad atmosférica se ve expuesta a cantidades variables de ácidos de origen natural, de este modo las precipitaciones tienen un pH de 5. Sin embargo en regiones con actividades humanas, la contaminación puede extenderse a cientos de kilómetros, en este caso el pH de la precipitación puede ser de 3.5 a 4.5. El bióxido de carbono del aire al disolverse con el agua de la atmósfera produce una solución ácida que disuelve con facilidad algunos minerales. No obstante esta acidez natural de la lluvia es muy baja

relacionada con los ácidos fuertes como el sulfúrico y el nítrico, aumentando más con la lluvia que se origina cerca de las zonas muy industrializadas (Hutchinson & Gordon 1994).

Las gotas de lluvia se transforman en ácidos que se depositan después en cantidades significativas sobre la superficie del suelo y la masa de agua. Alrededor del 60% al 70% de estas cantidades se debe al ácido sulfúrico y el resto al ácido nítrico, este efecto es acumulativo y las condiciones que favorecen la formación de ácidos son la mala dispersión atmosférica y la gran insolación (Alemany & López 2004).

Es aquella deposición sobre la vegetación, la hidrósfera terrestre y la infraestructura de las sociedades humanas, de elementos químicos que al disolverse en agua, aumenta su acidez. Este fenómeno ha implicado daños considerables en la flora y la fauna en muchos países, así como la pérdida del patrimonio cultural, por la destrucción de monumentos históricos y zonas arqueológicas (Romero *et al.*, 2006).

La lluvia ácida es un grave problema en América del Norte, ya que las industrias de Estados Unidos contaminan la atmósfera y la precipitación de ácidos, azufre, plomo así como otros tóxicos afecta extensos bosques, áreas de cultivo y lagos en Canadá. También se registran grandes afectaciones en la zona central de Europa por contaminación transfronteriza (Méndez *et al.*, 2009).

El efecto de las reacciones fotoquímicas pueden tomar horas o incluso días en llevarse a cabo, por lo que el viento puede acarrear esos contaminantes cientos de kilómetros antes de que caigan en forma líquida, ya sea como lluvia, niebla, nieve o granizo (depósito húmedo) o en forma de partículas y polvos (depósito seco) que se adhieren a las superficies. La lluvia ácida o depósito ácido es por lo tanto, una consecuencia directa de los procesos de auto limpieza de la atmósfera.

El estudio de la contaminación consiste en evaluar las concentraciones de los diferentes contaminantes, considerando dos conceptos: emisión e inmisión,

lanzamientos de materiales al aire ya sea por un foco localizado (emisión primaria) o como resultado de reacciones fotoquímicas o cadenas de reacciones iniciadas por un proceso fotoquímico (emisión secundaria). Inmisión es la concentración de contaminantes a nivel del suelo, de modo temporal o permanente, cantidad de contaminantes por unidad de volumen de aire a nivel de referencia a la altura de respiración del ser humano.

Así, las altas emisiones de partículas aunado a sistemas anticiclónicos, que provocan en temporada de lluvias tiempo estable y seco, propician vientos débiles desde la superficie hasta capas más alejadas, por lo que el viento no logra aumentar su velocidad en la superficie y los contaminantes, en este caso partículas en suspensión permanecen un mayor tiempo y ocasionan que se rebasen las normas establecidas. La velocidad y dirección del viento son importantes en el estudio de las concentraciones de partículas debido a que son los que transportan y dispersan los contaminantes a las diferentes zonas.

El presente trabajo realizado en la localidad de Villa La Venta, Tabasco, se ubica la planta Procesadora de Gas La Venta y se encuentran alrededor pozos de exploración y a 15 kilómetros se ubica una batería de separación (Cinco Presidentes) afectando la dispersión de contaminantes como; dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno. En este trabajo se estudiaron y determinaron los principales parámetros fisicoquímicos de agua de lluvia como son: Potencial de hidrógeno, conductividad, cloruros, nitratos, sulfatos y bicarbonatos con el fin de analizar la influencia de estos contaminantes presentes en la atmósfera y la forma que impactan al medio ambiente; para lograr el objetivo de esta investigación se estructuró en tres Capítulos que se muestran a continuación: En el Capítulo I se describen los conceptos generales de lluvia ácida, los mecanismos de formación de la lluvia y de la lluvia ácida, se representan además la ubicación geográfica de la zona de estudio, así como los principales fuentes contaminantes que se emiten en el lugar. El Capítulo II describe los métodos, técnicas, normas y procedimientos que rigen la parte experimental en la determinación de los compuestos presentes en el agua de

lluvia, así como el análisis de los parámetros como son pH, conductividad, cloruros, nitratos, sulfatos y bicarbonatos. Los resultados se muestran en el Capítulo III, en donde además de exponerse los resultados obtenidos se realizan en la discusión de los mismos. El análisis de la información se discute en las Conclusiones.

JUSTIFICACIÓN

A través del tiempo se han incrementado las emisiones contaminantes atmosféricas en el Estado de Tabasco contribuyendo con el 52% provenientes de fuentes móviles, 30% de fuentes puntuales y 18% de fuentes de área (SEDESPA, 2001). En la zona sureste se han evidenciado problemas atribuidos a la lluvia ácida, emisiones contaminantes provenientes de la industria petrolera, comercios y servicios, considerando también el aumento del parque vehicular, surgiendo varios reclamos de los habitantes de la zona, por muerte e improductividad de cultivos, contaminación de suelos y cuerpos de agua, que le imputan a la actividad de las zonas petroleras representando un riesgo para la conservación y desarrollo de los ecosistemas existentes originados por problemas de contaminación en la flora y fauna del lugar (Asociación Ecológica, 2011).

Actualmente en la localidad de La Venta se presentan los efectos de los daños ocasionados en décadas pasadas por la contaminación, como es el empobrecimiento de suelos de algunas zonas que se volvieron infértiles, donde por medio de estudios de fitoremediación realizados por un grupo de investigadores, los cuales mencionan que los suelos comprendidos alrededor del complejo petroquímico La Venta, quedaron empobrecidos (Beltrán & Vela 2005).

Hasta ahora no se tienen referencias de estudios de lluvia en la localidad de la Venta sin embargo es una zona impactada por las constantes emisiones de gases contaminantes procedentes de la industria petrolera, como son: Una planta Procesadora de Gas La Venta (Figura 1), una batería de separación y las estaciones de compresión cercanas al lugar así como la ubicación de 25 pozos de perforación, conociendo la existencia de estos problemas surge la importancia de realizar un estudio fisicoquímico de precipitación pluvial en esta zona además este trabajo servirá como base para la planeación de futuros proyectos de investigación, logrando mayor conocimiento sobre el comportamiento de gases contaminantes que influyen en la composición de la lluvia; participando en el

proceso de deposición húmeda a fin de analizar las emisiones de precursores de la lluvia ácida como los óxidos de nitrógeno y azufre a partir de los resultados obtenidos ofreciendo recomendaciones para la administración de Calidad del Aire en Tabasco.



Figura 1: Imágenes de descarga de gases a la atmósfera de la Procesadora de Gas La Venta. Fuente: López, 2011.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la concentración de los componentes fisicoquímicos de la precipitación húmeda en la localidad de La Venta, Huimanguillo, Tabasco durante un periodo de seis meses.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.-Identificar y cuantificar los contaminantes presentes en el agua de lluvia como; cloruros (Cl^-), nitratos (NO_3^-), sulfatos (SO_4^{-2}), bicarbonatos (HCO_3^-) y carbonatos (CO_3^{-2}). y su variación temporal durante seis meses de mediciones.
- 2.-Determinar los valores de los parámetros; pH y conductividad, presentes en las muestras del agua de lluvia y su variación temporal durante seis meses de mediciones.

ANTECEDENTES

El término lluvia ácida fue empleado por primera vez por Robert Angus Smith (1950), quien investigaba la química del aire de las industrias británicas; demostrando que estas fábricas hacían emisiones directas al aire de hollín y sustancias que cambiaban la química de la lluvia haciéndola más ácida. Aunque esta forma de contaminación es comúnmente conocida como lluvia ácida, el término más adecuado es deposición ácida, porque la acidez puede ser liberada como gas o como polvo, donde estas partículas son arrastradas a la tierra por medio de la lluvia (Torres & Galván, 1999). El ácido nítrico se disuelve en las gotitas de la nube. El ácido sulfúrico se condensa formando gotitas muy pequeñas de (0.1 a 2 μm). Parte de estas gotitas se depositan directamente en el suelo (deposición seca) y el resto se incorpora en las nubes. La humedad se condensa con facilidad en cualquier superficie existente y por supuesto en las partículas de sulfato, dando así gotitas nubosas que contienen ácido sulfúrico diluido (Kennedy, 1992.).

El agua de lluvia contaminada ofrece un pH entre 4 y 3., aunque puede llegar a tener valores más bajos de 2.6 e incluso en situaciones con límites de 2.0 en niebla o nubes bajas (Climent *et al*, 1992). Un informe Japonés indica que si no se reducen los niveles de contaminación ambiental que se registraron en dicho país, hacia finales de la década de los años 20 del próximo siglo habrá alteraciones que amenazarán el equilibrio biológico (McLaughlin, 1985).

El problema de la precipitación ácida se conoce desde hace décadas en la vecindad de las grandes ciudades la cual es ocasionada por lo general debido a las plantas fundidoras, sin embargo en los últimos años este fenómeno ha crecido y extendiéndose en varios lugares como son: En el este de Estados Unidos, el sureste de Canadá y Europa donde el valor de pH anual de la lluvia ha variado entre 4 y 4.5, lo cual indica que son de 5 a 30 veces más ácidas que el valor límite (pH de 5.6) para zonas limpias (Leyva, 1993).

Clark *et al.* (1983) determinaron el pH del agua de lluvia en 70 eventos de lluvia en San Carlos Rio Negro, Venezuela, encontrando que la acidez promedio era de 4.7 unidades de pH, causado principalmente por fuentes de contaminantes industriales. Estudios realizados a cultivos de legumbres mostraron que las lluvias con pH entre 2.5 y 3.0 afectan seriamente en el desarrollo y crecimiento en la lechuga, betabel, cebolla, la soya, el frijol pinto y el tabaco (Hutchinson & Gordon, 1994).

Desafortunadamente, mientras que las plantas pueden llegar a florecer, continúan rápidamente otros cambios. La abundante presencia de nitrógeno significa que otras especies pueden invadir y competir externamente con la flora nativa. Los pastizales pobres en nutrientes y los matorrales pueden cambiar, especialmente aquellos cercanos a las principales fuentes de nitrógeno, parecidos a los que tienen caminos densamente traficados. La lluvia ácida daña a los ecosistemas no solamente a causa de los nutrientes que agrega, sino también debido a su acidez, a la entrada de iones reactivos de hidrógeno. Generalmente la acidificación del suelo moviliza los nutrientes del suelo, promoviendo un oleaje inicial de crecimiento. Sin embargo, esta acidez desplaza a los nutrientes y cationes clave (Ca y Mg), los cuales pueden llegar entonces a ser limitantes para un crecimiento posterior (McLaughlin, 1985).

El Instituto Nacional de Ecología (INE) implemento (1987) el Programa de Precipitaciones Ácidas en la Zona Metropolitana de la Cd. De México (ZMCM); determinando el pH, la conductividad eléctrica, los sulfatos, los nitratos, los cloruros, el sodio, el potasio, el magnesio y el calcio a través de la técnica de muestreo por depósito total reevaluándose éste programa en 1993 iniciando una etapa de monitoreo realizado a través de la Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal (SMADF, 1999). Báez (1987) realizó un estudio en donde comparo la variación de especies químicas en dos sitios: En la Universidad Nacional

Autónoma de México (UNAM) en el Distrito Federal y en Rancho Viejo (RV) en el Estado de México, mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1: Valores de pH del agua de lluvia registrados en 1986-1987.

Lugar	Rango (pH)
Cd de México	3.88 - 7.10
Cd de México	4.31- 7.11
Rancho Viejo	4.05 - 5.40
Rancho Viejo	4.46 - 5.40

La lluvia ácida afecta especialmente a los lagos en regiones montañosas, observaciones recientes indican la progresiva acidificación de lagos. Los efectos de un pH bajo sobre los peces consisten en la pérdida de calcio en sus cuerpos, lo cual hace que tengan huesos débiles o deformes, incapacidad para el desarrollo de muchos huevos y daños en las branquias, causados por el aluminio que se separa de los suelos por acción de la acidez (Bailey *et al.*, 1995).

Investigadores de Escandinavia en 1991, señalaron que las primeras víctimas en sufrir este fenómeno de lluvia ácida fueron los lagos y ríos, en donde cientos de lagos en diversas partes de Escandinavia, en el noreste de los Estados Unidos, el sureste de Canadá y el suroeste de Escocia son ácidos con pH de 4 a 4.5, estas regiones se han considerado particularmente vulnerables debido a que sus suelos y lechos rocosos ofrecen poca protección contra la lluvia ácida por estar compuestos de minerales como granito y rocas ricas en cuarzo que contienen poca caliza y no se descomponen fácilmente por lo que no pueden neutralizar la acidez del agua de lluvia (Villalobos *et al*, 2006).

Leyva, realizó un estudio en el periodo de 1991 a 1993 en la ciudad de México, para evaluar metales pesados procedentes de diversas fuentes y formas químicas, a través del depósito húmedo, durante la temporada de lluvia del mismo año.

Determinando los coeficientes de correlación entre metales y parámetros meteorológicos, encontrando lo siguiente: calcio (Ca^{2+}) con Pb, Cl^- , NO_3^- , K^+ , Fe^{2+} , Ni^{2+} , en precipitaciones pluviales (todas mayores de 0.6 ppm), indicando las combinaciones de este elemento y confirmando la abundancia del mismo en el aire proveniente del suelo en tolvaneras. Las correlaciones anteriores son las que presentaron mayor peso en las estaciones monitoreadas, quedando de manifiesto la presencia de los metales en la atmósfera en diversas formas (Leyva, 1993).

Durante 1999 el 11% de las muestras colectadas de depósito húmedo fueron de carácter ácido, manifestándose durante los meses de agosto a noviembre, principalmente en la zona suroeste del Distrito Federal (INEGI, 1999). Estudios realizados en el Golfo de México se han encontrado valores de pH en el rango de 4 a 6.1 debido a la precipitación continental (SEDESPA, 2001).

En el periodo del 2002 al 2003, Bravo (2003) reportó acidez en las aguas de lluvia en la zona arqueológica de El Tajín Veracruz, indicando que el 85 por ciento de los eventos de precipitación de muestras analizadas en El Tajín correspondieron a lluvia ácida ($\text{pH} < 5.62$). La zona está rodeada de posibles fuentes de precursores de lluvia ácida en la forma de industrias que queman petróleo con un elevado contenido de azufre como centrales eléctricas y refinerías (Bravo, 2003).

Estudios realizados en Tabasco donde se evaluó la acidez en la precipitación pluvial en tres municipios del Estado de Tabasco, que son (Cunduacán, Centro y Comalcalco), obteniendo en Cunduacán un pH más bajo, durante los meses de agosto, septiembre y octubre, el porcentaje de pH menor a 5.5 fue de 63% para Cunduacán, un 39% para Comalcalco y un 18% para el Centro. Cabe mencionar que en los tres municipios, se determinó también la conductividad donde los resultados indicaron que las medias registraron valores de 41.60, 43.60 y 37.42 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, mostrando así una elevada conductividad, lo cual denota la presencia de sales disueltas en las muestras analizadas (Jacinto, 2001).

De acuerdo a estudios efectuados en el año 2004, del inventario de emisiones de SO_2 y NO_2 (SRMARNAP/SS/GEJ 1997), conforme al crecimiento del parque vehicular y al desarrollo urbano e industrial en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), se sugiere que el principal contaminante depositado por vía húmeda y promotor de la lluvia ácida es el NO_2 . Es fundamental seguir determinando los NO_3^- en la lluvia de manera sistemática con la finalidad de ampliar la base de datos para fundamentar y confirmar estos resultados. Las condiciones orográficas, climáticas y dinámicas son particulares para cada región, dichas emisiones junto con las condiciones meteorológicas de la región determinan el transporte, dispersión de contaminantes y precipitaciones ácidas. El desarrollo incontrolado puede propiciar niveles de contaminación y lluvia ácida de mayor consideración con respecto a los que se han reportado hasta ahora (García *et al*, 2006).

Tabla 2: Valores de potencial de Hidrogeno (pH) registrados en diferentes lugares.

Lugar	PH	Año
Cd de México	4.9 y 5.6	2009
Cuajimalpa	4.3	2009
Golfo de México	4 y 6.1	2006
Tijuana	3	2006

Se puede observar de la Tabla 2, los valores de potencial de hidrógeno (pH), obtenido de las precipitaciones en la Ciudad de México en su área metropolitana, suelen ser más ácidas en el sur y en el poniente que en el norte y centro. La región expuesta a eventos de lluvia ácida se ha incrementado gradualmente desde 2006, los resultados del 2009 indican que la acidez de la lluvia presento poca variabilidad espacial con valores promedio de pH entre 4.9 y 5.6, con un pH de 4.3 se registró en el mes de octubre en la Delegación Cuajimalpa. Es probable que en el sur del Distrito Federal sean mayores los efectos de lluvia ácida debido a que suele ser mayor el porcentaje de muestreos en esas regiones (SMA, 2009).

En Tabasco se han detectado daños causados al medio ambiente debido a la presencia de deposición ácida. Existen muchas especulaciones acerca de los efectos causados por la lluvia ácida sobre el suelo, vegetación y mantos acuíferos del Estado de Tabasco, se han realizado diferentes diagnósticos y evaluaciones del deterioro ambiental y daños causados por la explotación petrolera (Domínguez *et al*, 2009). Estudios en el municipio de Cunduacán presenta resultados con mayor relevancia respecto a concentraciones altas de partículas (año 2003) de tipo antropogénicas en esta área relativamente cercana y rodeada de pozos petroleros, se podría explicar por los vientos dominantes del N, NE y ENE, los cuales transportan las partículas al área encontrando una velocidad de 2.18 m/s por lo que la dispersión los contaminantes no se favorece (Pérez, 2008).

García en el 2006 menciona la relación de la lluvia ácida con la acidez de los suelos debido a que la lluvia se percuela hacia abajo a través de un suelo ácido, éste absorbe los iones de hidrógeno libres que hacen al suelo ácido por lo que el agua del suelo es entonces más ácida que la lluvia, y las raíces de las plantas pueden estar rodeadas por agua con un pH= 4 o más bajo (García, 2006).

En el Golfo de México investigadores realizaron estudios de deposición húmeda en diferentes lugares del Estado de Veracruz, en los cuales encontraron valores de pH: En San Juan de Ulúa (pH=5.23), Universidad Veracruzana (pH= 5.05), Morro de la Mancha (pH = 4.74) y Zona Arqueológica de El Tajín (pH = 4.67). Los cuales indican la presencia de deposición ácida, impactando así en el deterioro de los materiales de construcción de la Zona Arqueológica de El Tajín, así como en la fortaleza de San Juan de Ulúa (Bravo *et al.*, 2005). En otras investigaciones realizadas en Tijuana, han encontrado altas concentraciones de iones sulfatos y cloruros, cuando hay una alta conductividad de la lluvia y por ende un rango de acidez de la lluvia menor (pH= 3) (Villalobos *et al.*, 2006).

Se encontró que todos los sectores productivos están relacionados de manera directa o indirecta con la producción de al menos un contaminante del aire y que

aunque algunos sectores en particular no producen contaminantes si lo hacen en forma indirecta o inducida. Para la mayoría de los sectores, la contaminación que se genera de manera indirecta e inducida es más relevante que la contaminación que se genera de manera directa (Guajardo & Olvera, 2002).

Mendoza (2002) realizó un inventario de las emisiones atmosféricas por la actividad de las instalaciones petroleras en la zona central del Estado de Tabasco. Por lo que concluyó que la masa de contaminantes emitida a la atmósfera era de 13,592 ton/año, por la operación de las instalaciones de Pemex Exploración y Producción ubicada en la zona central del Estado de Tabasco. En el área denominada “Samaria-Íride”, se encuentra por debajo de las emisiones registradas en otras áreas con actividad petrolera e industrial como lo es el corredor Coatzacoalcos-Minatitlán, 124,475 ton/año. Con relación a las emisiones de Compuestos Orgánicos Totales, en el área de Samaria-Íride, 6,319 ton/año, en los que se encuentran incluidos los Compuestos Orgánicos Volátiles, estas se encuentran muy por debajo en comparación con las emisiones del área petrolera e industrial del corredor Coatzacoalcos-Minatitlán, en el que se registraron emisiones de 58,479 ton/año (Mendoza, 2002).

En suelos pobres en cationes ubicados en bosques de coníferas que presentan escaso taponamiento, sensibles a los ácidos presentan mayor impacto por la lluvia ácida; con el tiempo reduce la solubilidad del fósforo y nitrógeno alterando el balance de nutrientes de los árboles y de otros tipos de vegetación. Además, la lluvia ácida puede inhibir la actividad de los hongos y bacterias del suelo, con lo cual reduce las tasas de producción de humus, la mineralización y la fijación de nutrientes, generando como consecuencias la disminución del rendimiento de las cosechas, una menor producción de madera, la necesidad de usar más fertilizantes para compensar las pérdidas de nutrientes (Granados *et. al* 2010).

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

En este Capítulo presenta la importancia de la atmósfera en la tierra con sus respectivas funciones conformada por los diferentes gases presentes en el aire. Se muestra el comportamiento del agua en la corteza terrestre comportándose como disolvente, transportador y catalizador considerando naturalmente el ciclo del agua, en donde encontramos la formación de lluvia como un mecanismo natural de limpieza en la atmósfera acarreando y removiendo gases atmosféricos, siendo un indicador de gran utilidad en el estudio de la contaminación ambiental, revelando parte del descubrimiento de la lluvia ácida y las reacciones que las generan. Así también se conocerán la importancia de los diferentes ciclos como son el oxígeno, nitrógeno, azufre involucrados en el proceso de formación de gases presentes en la atmósfera, se mostrará la generación de óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y dióxido de carbono, conociendo las posibles fuentes de emisión como también los efectos que producen estos gases en el medio ambiente y en la salud. Se incluyen también los efectos potenciales del fenómeno de lluvia ácida que se genera en los diferentes ecosistemas como son acuáticos, terrestres y diversos materiales contribuyendo en la corrosión y su deterioro visualizando posibles alternativas de solución y medidas de control de lluvia ácida que es uno de los principales problemas que ha impactado a nivel internacional enfocándose más en su estudio y comportamiento.

1.1. La Atmósfera.

La atmósfera tiene varias funciones vitales en la tierra como controlar el clima, sirve de capa protectora contra impactos y onda de luz corta, entre otras (Glynn & Heinke, 1999). Está compuesta por aire seco, vapor de agua y en menor cantidad de partículas sólidas en suspensión. El aire puro es una mezcla gaseosa de nitrógeno (78 %), oxígeno (21%) y compuestos como argón, dióxido de carbono, ozono, vapor de agua, metano entre otros (1%) (Jacobson, 1990). Un aerosol es un conjunto de partículas suspendidas en el aire ya sean sólidas, líquidas o una combinación de ambas. Las partículas atmosféricas tienen un diámetro menor de $0.2 \mu\text{m}$ y mayor de hasta $2 \mu\text{m}$ (Jacobson, 1990).

Las proporciones de los gases principales en aire seco permanecen constantes hasta altitudes de 100 km, por lo que a mayor altura las moléculas gaseosas se disocian en iones y radicales libres por medio de reacciones de fotodisociación. Considerando su importancia biológica y los ciclos característicos de interacción con los organismos vivos: El oxígeno y el nitrógeno. El oxígeno es necesario para la oxidación del alimento, el cual nos proporciona energía y se obtiene directamente de la atmósfera. Por el contrario, el gas nitrógeno es químicamente no reactivo, es necesario para los organismos vivos para formar los aminoácidos esenciales para la vida, se debe obtener indirectamente a partir de la atmósfera utilizando procesos naturales que convierten el gas nitrógeno en sales solubles. (Raiswel *et al.*, 1983).

1.2. Agua.

En los procesos de la corteza terrestre, el agua se encuentra interrelacionada en varias funciones como son: Disolvente, transportador y catalizador. El agua es sobre todo un disolvente, en estado líquido una molécula de H_2O tiene forma de triángulo isósceles en el que la distancia entre los átomos de oxígeno y de hidrógeno es de 0,096 nm, mientras que entre los átomos de hidrógeno es de 0,151 nm. El oxígeno es más electronegativo que el hidrógeno y en consecuencia, los electrones son atraídos hacia el átomo de oxígeno, el momento dipolar del agua es elevado, por lo menos dos veces superior a su análogo de azufre. La marcada naturaleza polar del agua es la causa de sus notables propiedades como disolvente. La fuerza de atracción entre el dipolo y los iones en una superficie de cristal es la responsable de la destrucción de cristales en solución; el proceso se llama solución o hidrólisis, por ello el agua rompe fácilmente cristales con enlaces iónicos pero es mucho menos efectiva para disolver la mayoría de compuestos covalentes.

El agua es medio de transporte, en donde la influencia del momento dipolar es crítica. Los iones que se liberan de una red cristalina se rodean inmediatamente de una cubierta de moléculas de agua debido a que la carga de la superficie del

ion crea un gradiente de potencial electrostático de millones de voltios por centímetro, cerca de la superficie del ión, la cual atrae a las moléculas polares de agua. El comportamiento del ión disuelto que sigue a continuación viene determinado según que las moléculas de agua sean atraídas más fuertemente hacia otras que el ión, es decir, sea precipitado. La potencia de la fuerza de atracción ión-agua para iones de igual carga es inversamente proporcional al cuadrado del radio iónico.

Por último el agua actúa como catalizador permitiendo a los iones aproximarse sin impedimento espacial acelerando las reacciones químicas, por tanto favoreciendo las colisiones con la orientación adecuada. Los papeles del agua como disolvente, transportador y catalizador son muy invidentes en las reacciones de meteorización que denominan esta sección del complejo tierra-aire-agua (Ludevid, 1997).

1.3. El ciclo del agua.

El agua constituye tres cuartas partes de la superficie terrestre, en la cual el 96.54% es agua salada conformada por el océano, el 1.74% corresponde a los casquetes polares y glaciares, también hay una considerable provisión de agua tanto bajo la tierra como en la superficie de los continentes: 1.69% pertenece al contenido del agua subterránea, los lagos contienen el 0.013%, los pantanos tienen el 0.0008% y ríos con el 0.0002%. Esta gran masa de agua está en constante transformación el cual se evapora en el mar y pasa a la atmósfera; una vez ahí puede caer en forma de lluvia sobre los continentes, el cual escurre hacia los ríos, por donde fluye y regresa al océano; también la atmósfera juega un papel importante debido a que capta agua en forma de vapor de los ecosistemas terrestres por medio de: 1) La evaporación del agua contenida en el suelo y cuerpos de agua dulce así como de 2) La transpiración de las plantas en donde pierden agua a través de sus estomas (Valverde *et al.*, 2005), se condensa, se hiela y se deshuela viajando largas distancias en forma de nubes en la atmósfera o de corrientes de agua en la tierra y los océanos. El movimiento constante del agua en sus diferentes fases se llama ciclo del agua o ciclo hidrológico. La

humedad contenida en la atmósfera se deriva principalmente de la evaporación del agua de mar, pero una pequeña parte procede de la evaporación de lagos y ríos, de la humedad del suelo y de la vegetación. La humedad atmosférica en una zona particular puede variar considerablemente, puesto que constante se añade agua al aire, la cual se evapora y se elimina por condensación en forma de nubes, lluvia, nieve y niebla. Un modelo de compartimiento en el complejo tierra-aire-agua muestra cómo surge esta variabilidad (Moral & López, 2002).

La Figura 2 muestra el flujo de agua entre los tres depósitos principales del complejo tierra-aire-agua.

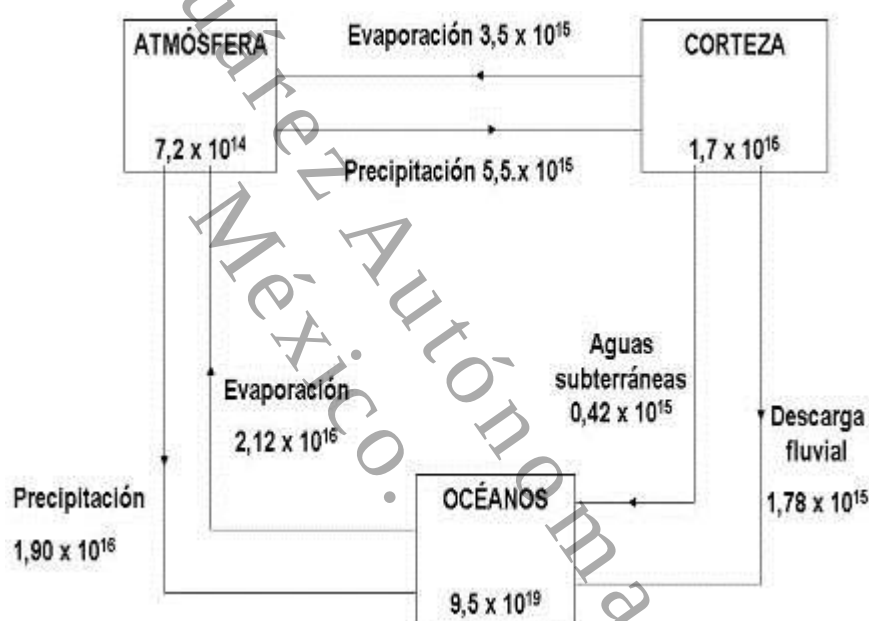


Figura 2: El ciclo del agua. Unidades de los depósitos en moles, flujo en mol año⁻¹

Fuente: Raiswel *et al.*, 1983.

La atmósfera es un depósito pequeño comparado con la corteza terrestre y la hidrósfera, la tasa de transferencia de agua a través de ella tiene lugar de forma relativamente rápida. El contenido del agua en la atmósfera es aproximadamente $7,2 \times 10^{14}$ moles y la tasa de entrada es igual a la pérdida neta por los océanos, siendo la ganancia neta por los continentes ($2,2 \times 10^{15}$ mol año⁻¹). La división

simple da el tiempo de residencia en la atmósfera de 0,03 años, u 11 días. Por lo que el tiempo de residencia en los océanos (volumen= $9,5 \times 10^{19}$ moles) es de 3500 años y en los continentes (volumen de agua $1,7 \times 10^{15}$ moles) es aproximadamente un año. Esto demuestra que con depósitos pequeños como la atmósfera, incluso con tasas de transferencia baja o moderada es posible la renovación de todo el material en periodos de tiempo muy cortos. Cuando las burbujas de agua estallan en la superficie del océano proyecta diminutas gotas de agua marina, a la atmósfera y estas gotas son sometidas rápidamente a evaporación para formar micropartículas de sales marinas. Algunas de estas partículas son recicladas de nuevo al mar, pero otras se depositan en la superficie terrestre o forman núcleos de condensación alrededor de los cuales se pueden formar gotas de lluvia. El agua de lluvia contiene, pequeñas cantidades de sales representativas de las encontradas en el agua marina (Raiswel *et al.*, 1983).

De todos los participantes de los ciclos biogeoquímicos, los más importantes son los productores primarios, los saprofitos, el agua y el aire. Sin ellos, el movimiento de materia no se podría llevar a cabo. Si uno de estos compartimientos se altera por alguna causa, los ecosistemas sufren grandes modificaciones y en algunas circunstancias funcionan mal o dejan de funcionar. Estas transformaciones afectan el modo de vida de todas las especies, incluyendo la humana, la deforestación y la lluvia ácida constituyen dos ejemplos dramáticos de estos efectos.

La lluvia es un mecanismo natural de limpieza de la atmósfera y tiene propiedades de acarreo únicas, remueve los gases atmosféricos, aerosoles partículas y todos aquellos compuestos que han sido introducidos a la atmósfera por diferentes fuentes de emisión naturales (erupciones volcánicas, incendios forestales y descargas eléctricas o antropogénicas (plantas de energía, industria y transporte) por lo que la lluvia es un indicador útil de los niveles de la contaminación ambiental aportando datos valiosos acerca de entradas de nutrientes y compuestos tóxicos a sistemas terrestres y acuáticos (Parungo, 1998; Baez ,1997).

1.4. Lluvia ácida.

La alteración de los ciclos biogeoquímicos por parte del hombre también incide en la calidad del agua de lluvia. La combustión excesiva de petróleo, carbón y gas natural y en menor medida los incendios, liberan a la atmósfera grandes cantidades de dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2) y ácido sulfhídrico (H_2S). Estos compuestos reaccionan formando ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3). La presencia de estos ácidos en la atmósfera reduce el pH del agua de lluvia, a valores de entre 3.5 y 4.5, los que corresponden a una mayor acidez (Aouragh, 2002).

La Figura 3, muestra el ciclo de lluvia ácida, cuando llueve los ácidos contenidos en la atmósfera se precipitan al suelo. Sin embargo, éstos pueden caer sin necesidad de que llueva; a este fenómeno se le conoce como precipitación seca. La precipitación de ácidos afecta seriamente el funcionamiento de los ecosistemas terrestres y acuáticos. En los ambientes acuáticos el aumento en la acidez en el agua provoca la muerte de muchos peces, anfibios e invertebrados (Valverde *et al.*, 2005).

Este viaje puede durar desde unas horas hasta semanas enteras. En el caso de la **deposición húmeda**, la lluvia, la niebla, el rocío, la nieve, o el pedrisco, transportan estos compuestos y hacen que aumente la acidez de los lagos, torrentes de agua dulce, y en algunos casos de los suelos (Doménech, 1991).

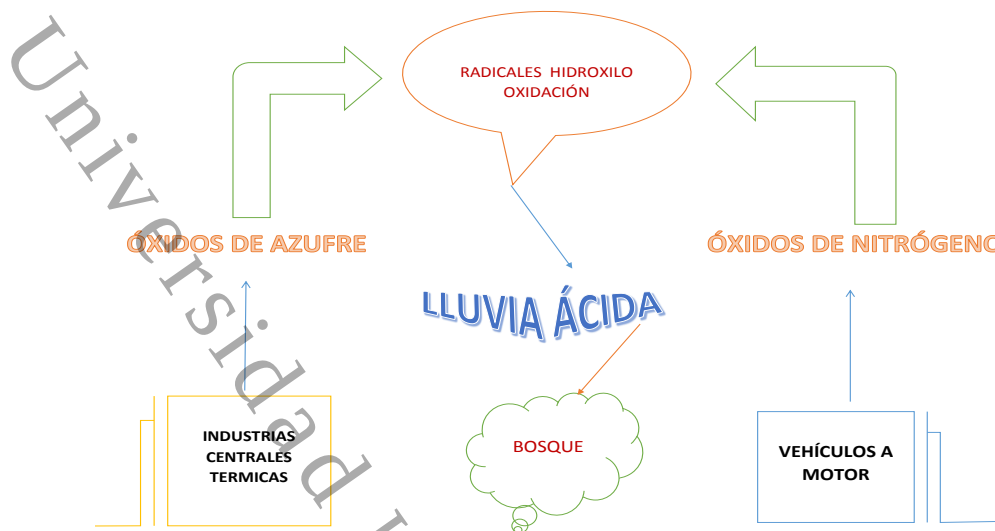


Figura 3: El ciclo de la lluvia ácida. (Aouragh, 2002.)

1.5. Ciclo del Oxígeno.

El oxígeno atmosférico es requerido para la respiración de las plantas, de los animales y de los microorganismos, se utiliza para oxidar los compuestos de carbono, en forma similar el oxígeno se consume cuando se queman combustibles fósiles, madera y otros materiales orgánicos, es también reciclado, combinado químicamente bien con el carbono, formando bióxido de carbono, con el hidrógeno formando agua.

A nivel metabólico, se forma agua durante la respiración aeróbica por la combinación del oxígeno con el hidrógeno, además cuando se disuelve en agua, cubre las necesidades de los organismos acuáticos. También participa en la meteorización de sedimentos orgánicos antiguos, como son el carbón, los sulfuros minerales que producen sulfatos y el de nitrógeno gaseoso, que produce nitratos (Domenech, 1991). En la Figura 4 se muestra el ciclo del oxígeno (Aouragh, 2002).

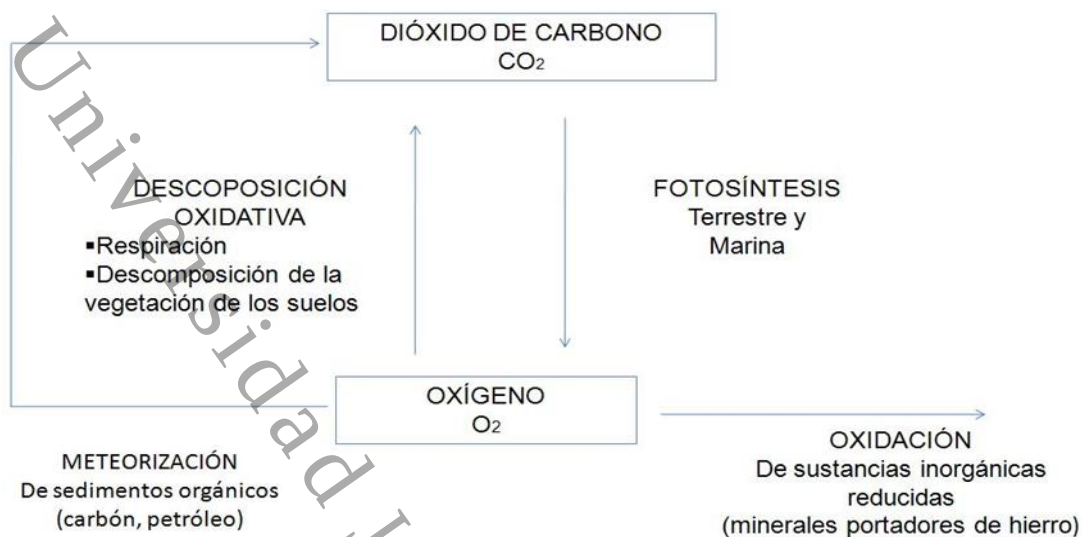


Figura 4: Ciclo del oxígeno. (Aouragh, 2002.)

1.6. Ciclo de Nitrógeno.

En la Figura 5, se ve el proceso cíclico natural en el curso del cual el nitrógeno se incorpora al suelo y pasa a formar parte de los organismos vivos antes de regresar a la atmósfera. El nitrógeno parte esencial de los amino ácidos es elemento básico de la vida encontrándose en la atmósfera con una porción del 79 % sin embargo el nitrógeno gaseoso debe ser transformado en una forma químicamente utilizable antes de ser usado por los organismos vivos (Langmann, 1997).

En el ciclo el nitrógeno gaseoso es transformado en amoníaco o nitratos; la energía aportada de los rayos solares y la radiación cósmica sirven para combinar el nitrógeno y el oxígeno gaseosos en nitratos a su vez son arrastrados a la superficie terrestre por las precipitaciones, la mayor parte del procesos de conversión del nitrógeno se produce por la acción de bacterias libres fijadoras de nitrógeno, bacterias simbióticas que su habital son las raíces de las plantas como son leguminosas, algas verde azules, ciertos líquenes y epifitas de bosques tropicales (Langmann, 1997). El nitrógeno en forma de amoníaco y nitrato es absorbido directamente por las plantas e incorporado a sus tejidos en forma de proteínas vegetales, recorriendo la cadena alimenticia desde las plantas a los herbívoros y estos a los carnívoros, cuando estos mueren los compuestos nitrogenados se descomponen produciendo amoníaco (amonificación) parte de

este es recuperado por las plantas y el resto se disuelve en el agua o permanece en el suelo donde los microorganismos los convierten en nitratos y nitritos proceso llamado nitrificación.

El nitrógeno que se pierde por desnitrificación, lixiviación, erosión y procesos similares en sistemas naturales es reemplazado por el proceso de fijación.

La lixiviación del nitrógeno en tierras de cultivo demasiado fertilizadas, la tala de bosques, los residuos de animales y las aguas residuales otorgan demasiado nitrógeno a los ecosistemas acuáticos generando un descenso en la calidad del agua y el crecimiento de algas marinas.

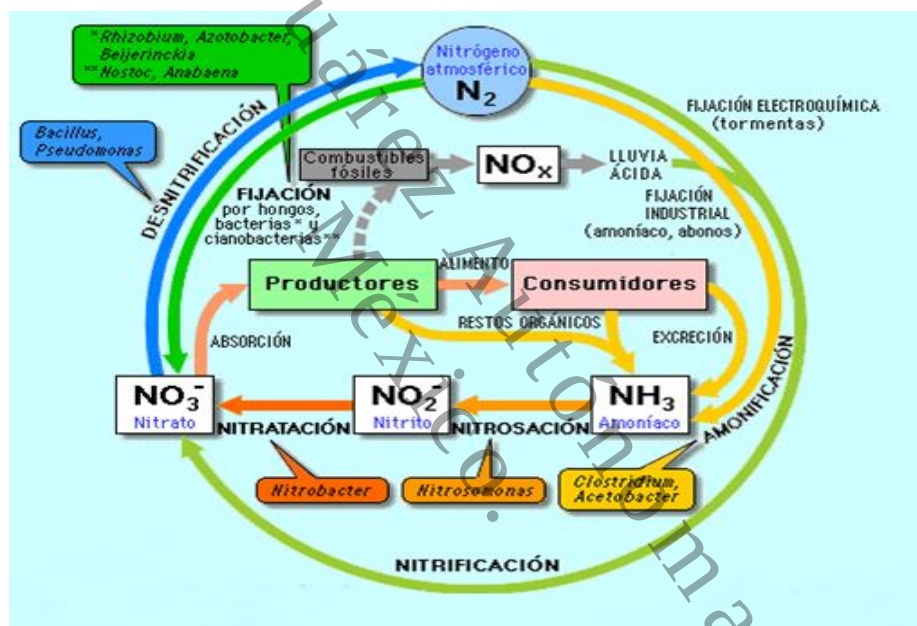


Figura 5: Ciclo del nitrógeno. Fuente: Química, 2000.

1.6.1. Óxidos de Nitrógeno (NO_x).

El dióxido de nitrógeno (NO_2) en la atmósfera resulta de la oxidación del óxido de nitrógeno (NO) son contaminantes primarios del aire, el NO , también llamado óxido nítrico es un gas incoloro e inodoro. En cambio el (NO_2) es un gas de color rojizo, de olor fuerte y asfixiante parecido al del cloro generado en los cilindros de

los motores de combustión interna por combinación directa de nitrógeno y oxígeno (Galloway, 1998).

Formación de óxido de nitrógeno: $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$ (1)

La reacción ocurre a altas temperaturas durante el uso de combustibles fósiles.

El NO_2 se forma por la reacción del NO con el O_2 del aire.

Formación de dióxido de nitrógeno: $2\text{NO} (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}_2$ (2)

1.6.2. Fuentes de emisión del NO_2 .

La mayor fuente de emisiones de óxidos de nitrógeno es el uso de combustibles fósiles por fuentes fijas y móviles, aunque también se producen óxidos de nitrógeno durante la fabricación de ácido nítrico, el uso de explosivos, uso de gas licuado del petróleo (L. P.) y el proceso de soldadura. Los óxidos de nitrógeno se generan de manera natural por actividad bacterial, volcánica y por descargas eléctricas atmosféricas; sin embargo la cantidad generada es baja en comparación con las emisiones de origen antropogénico. La permanencia media del dióxido de nitrógeno en la atmósfera es de un día, aproximadamente (Lemay, 1998).

1.6.3. Efectos que provoca el NO_2 sobre el medio ambiente.

En la Tabla 3, presenta algunas de las principales fuentes de contaminación y las causas que la originan, la mayor parte de los óxidos de nitrógeno producidos por fuentes artificiales se derivan de las plantas generadoras de energía eléctrica, donde a temperaturas altas de la combustión de los energéticos facilita la generación de estos óxidos, los cuales participan en la formación de contaminantes secundarios del aire, lo que tiende a eliminar una pequeña porción de la atmósfera. La mayoría de los NO_x se convierten finalmente en ácido nítrico (HNO_3) y nitratos (NO_3^-). En esta forma se depositan sobre el suelo o en el mar,

como consecuencia de las lluvias o se sedimentan como macropartículas (Stocker & Vie le Sage, 1982).

Tabla 3: Fuentes de óxidos de nitrógeno (NOX). (Stocker & Vie le Sage, 1982).

Fuentes	Porcentaje del Total Anual de Emisiones de NO_x	
Transporte:	39.3	
Vehículos motorizados (gasolina)		32.0
Vehículos (diesel)		2.9
Ferrocarriles		1.9
Uso de combustible de motor para fines distintos del transporte.		1.5
Vehículos marinos		1.0
Combustión de productos energéticos (fuentes estacionarias, plantas de energía, calefacción de espacios industriales):	48.5	
Gas natural		23.3
Carbón		19.4
Combustóleo		4.8
Madera		1.0
Procesos industriales (planta de ácido nítrico)	1.0	
Eliminación de desechos sólidos	2.9	
Diversos (incendios forestales y quema agrícola)	8.3	

Los óxidos de nitrógeno también se originan cuando el aire es seco, el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno no se convierten en ácidos que pueden permanecer en su estado original durante largos periodos. Estas cantidades se depositan en forma de gas o en diminutas partículas en el proceso conocido como depósito seco. En las regiones afectadas por la contaminación atmosférica. En

algunos casos de contaminación crítica, la lluvia puede incluso ser todavía más ácida (Guerra, 1995).

1.6.4. Efectos que provoca el NO₂ en la salud.

Los efectos de exposición a corto plazo no son claros, pero la exposición continua a concentraciones mayores a las encontradas normalmente en el aire, puede causar un incremento en la incidencia de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, agravamiento de afecciones en individuos asmáticos: irrita los pulmones, causa bronquitis y pulmonía, reduce la visibilidad en la atmósfera, afecta y reduce la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre a las células, eleva los índices de mortalidad por cáncer por neumonías, cáncer del pulmón (Kenneth, 1998; Sánchez, 2001). La concentración de dióxido de nitrógeno en la Ciudad de México, se encuentra por debajo de la norma oficial establecida y la tendencia actual de este contaminante es una reducción de los niveles existentes (Kenneth, 1998). En la Tabla 4 se indica las concentraciones de óxidos de nitrógeno que pueden ser nocivos para la salud.

Tabla 4: Efectos del NO₂ en la salud. (Kenneth, 1998).

Concentraciones en (ppm)	Efectos
1-3	Concentración mínima que se detecta por el olfato.
3	Irritación de nariz, garganta y ojos.
25	Congestión y enfermedades pulmonares.
100-1000	Puede ser mortal, incluso tras una exposición breve.

Un pequeño porcentaje de óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre provienen de fuentes naturales, pero el principal porcentaje está originado por la quema de combustible fósiles (como el carbón, o el petróleo) o de biomasa (como la leña). Las centrales eléctricas, las calderas industriales y los vehículos a motor son la principal causa de deposición de ácido. Este proceso puede verse en la Figura 3. Las emisiones de azufre y de nitrógeno entran en contacto con el vapor de agua, la luz y el oxígeno de la atmósfera y se crea una sopa diluida de ácido sulfúrico y ácido nítrico. Después de estos procesos y estas reacciones catalíticas iniciadas de forma fotoquímica en la atmósfera, esta mezcla viaja decenas o cientos de kilómetros y se precipita desde la atmósfera en forma de deposición húmeda o de partículas secas. Este viaje puede durar desde unas horas hasta semanas enteras. En el caso de la **deposición húmeda**, la lluvia, la niebla, el rocío, la nieve, o el pedrisco, transportan estos compuestos y hacen que aumente la acidez de los lagos, torrentes de agua dulce y en algunos casos de los suelos (Doménech, 1991).

1.7. El ciclo del azufre.

La Figura 6 muestra el ciclo del azufre en el cual circula a través de la acósfera y se transforma en diversos compuestos, entrando a la atmósfera como sulfuro de hidrógeno (H_2S), desde volcanes activos, la descomposición de los restos de plantas y animales llevada a cabo por los organismos descomponedores hidrógeno (H_2S). Las plantas y otros productores primarios lo obtienen principalmente en su forma de ion sulfato (SO_4^{2-}). Estos organismos incorporan el azufre a las moléculas de proteínas en esta forma pasa a los organismos del nivel trófico superior. La descomposición de los restos de plantas y animales llevada a cabo por los organismos descomponedores produce sulfuros de hidrógeno (H_2S), desde volcanes activos (Langmann, 1997). Bajo condiciones aeróbicas, este gas altamente reactivo, puede convertirse en sulfato directamente por la acción de bacterias que oxidan el sulfuro, como las especies del género *Thiobacillus* (Aourang, 2002).

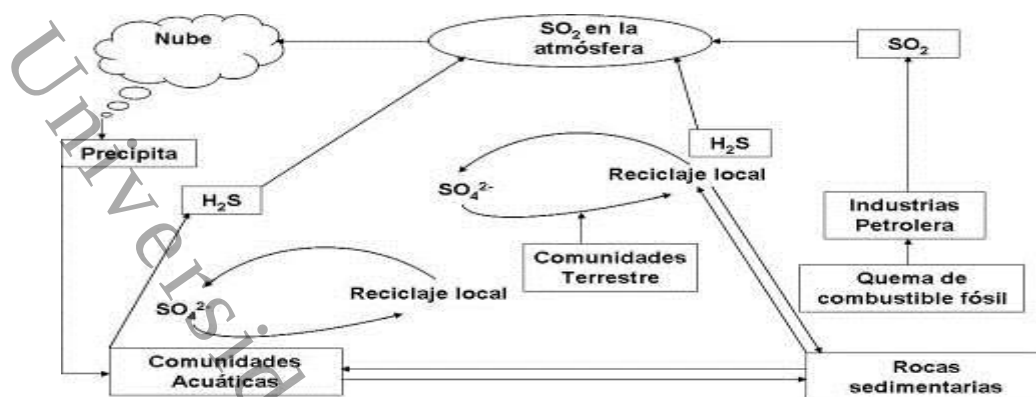


Figura 6: Ciclo del azufre. (Aourang, 2002).

Cerca de un tercio de todos los compuestos de azufre y el 99% del dióxido de azufre que llegan a la atmósfera desde todas las fuentes proviene de las actividades humanas la combustión de carbón y petróleo que contienen azufre destinada a producir energía eléctrica representa cerca de dos tercios de la emisión por humanos de dióxido de azufre a la atmósfera. El tercio proviene de procesos industriales como la refinación de petróleo y la conversión de compuestos azufrados de minerales metálicos en metales libres como el cobre y plomo.

1.7.1. Efectos que provoca sobre el medio ambiente el SO_2 .

El SO_2 atmosférico puede oxidarse a SO_3 por diferentes medios y reaccionar con la humedad del entorno (H_2O) para producir partículas de ácido sulfúrico (H_2SO_4), las cuales se dispersan en el ambiente en forma de lluvia, llovizna, niebla, nieve y rocío dando origen a un proceso de acidificación de la tierra y cuerpos de agua (Cantú, 1993).

1.7.2. Efectos que provoca el SO_2 en la salud.

Las altas concentraciones de óxidos de azufre mostradas en la Tabla 5 pueden generar enfermedades respiratorias en especial en los ancianos con enfermedades pulmonares crónicas: Genera tos y asfixia, crecientes índices de asma crónico y agudo, bronquitis, cambios en el sistema de defensa de los

pulmones que se agudiza en personas con desordenes cardiovasculares y pulmonares (Sánchez, 2001).

Tabla 5: Efectos del SO₂ en la salud (Galloway et al., 1998).

Rangos de Concentraciones en (ppm)	Efectos
1-6	Broncoconstricción
3-5	Concentración mínima detectable por el olfato
8-12	Irritación de la garganta
20	Irritación de los ojos y tos
50-100	Concentración máxima para una exposición corta de (30 min.)
400-500	Puede ser mortal, incluso en una exposición breve.

Experimentos realizados en animales expuestos a concentraciones de SO₂ de 9 a 50 ppm, muestran cambios morfológicos y funcionales permanentes similares a los que presenta la bronquitis crónica. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda como límite para preservar la salud pública una concentración de 100 a 150 µg/m³ promedio de 24 horas, y de 40 a 60 µg/m³ en una media aritmética anual. La Norma Oficial Mexicana de SO₂ establece como límite de protección a la salud, una concentración de 0.13 ppm (ó 341 µg/m³) promedio de 24 horas, una vez al año, y 0.03 ppm (ó 79 µg/m³) en una media aritmética anual para protección de la población susceptible. La concentración de dióxido de azufre en la Ciudad de México, se encuentra por debajo de la norma oficial establecida y su tendencia actual es reducir los niveles existentes, debido principalmente a cambios introducidos en los combustibles y a la práctica de técnicas de control en chimeneas (SMA, 1999).

1.8. Dióxido de carbono CO₂.

Los diversos procesos por los que se genera el dióxido de carbono son: La combustión u oxidación de materiales que contienen carbono, como el carbón, la

madera, el aceite o algunos alimentos; por la fermentación de azúcares, y por la descomposición de los carbonatos bajo la acción del calor o los ácidos. El dióxido de carbono es un gas incoloro, inodoro y con un ligero sabor ácido, cuya molécula consiste en un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno (CO₂).



Este gas se recupera comercialmente de los gases de hornos de calcinación, de los procesos de fermentación, de la reacción de los carbonatos con los ácidos. En la atmósfera se encuentra el dióxido de carbono en cantidades variables, aunque normalmente es de 3 a 4 ppm, la cual aumenta un 0,4% al año, es utilizado por las plantas verdes en el proceso conocido como fotosíntesis, por el cual se fabrican los carbohidratos, dentro del ciclo del carbono (Bolin *et al.*, 1989).

La Tabla 6 muestra la cantidad de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que generan algunas instalaciones de Pemex, en las cuales se analizaron los reportes de diferentes Petroquímicas y Procesadoras de gas, etc. resaltando el Complejo Procesador Gas La Venta-Huimanguillo (Semarnat, 2011).

Tabla 6: Toneladas de bióxido de carbono en Tabasco. (Semarnat, 2011).

	2005	2006	2007	2008
Pemex	Toneladas de Bióxido de Carbono CO₂			
Pemex Gas y Petroquímica Básica Complejo Procesador de Gas Nuevo Pemex	1,732,417	1,740,188	1,732,160	2,127,160
Pemex Gas y Petroquímica Básica Complejo Procesador de Gas Ciudad Pemex	472,545	521,305	519,682	641,232
Complejo Procesador Gas La Venta	144, 983	167,503	No reportó	171,835

En el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), en los municipios de Centro y Cárdenas se concentra alrededor del 40% de las industrias que reportan al RETC del total de las industrias de jurisdicción federal las cuales emiten en su proceso industrial grandes cantidades al aire, agua y suelo de sustancias tóxicas como plomo, cadmio, cianuro, asbesto, entre otras, bióxido de carbono y metano, estos dos últimos, precursores del cambio climático, así como también óxidos de azufre (SO₂) (Asociación Ecológica, 2011).

1.9. Reacciones de la formación de la lluvia ácida.

En la atmósfera existen determinadas especies contaminantes las cuales son muy solubles e interaccionan con el vapor de agua para formar iones en disolución; como son, sulfatos, dióxido de carbono, amoníaco, ácido clorhídrico y ácido nítrico (SO₄⁻², CO₂, NH₃, HCl y HNO₃), ocasionando la formación del ión hidronio H₃O⁺, que representa la acidez de las disoluciones; una mayor concentración de este ión representa una mayor acidez (Fernández, 1994).

Estas reacciones producen ácidos fuertes, principalmente ácido nítrico y ácido sulfúrico, que se diluyen en vapor de agua, para finalmente caer a la tierra en forma de lluvia ácida, nieve y niebla, fenómeno que se conoce como deposición húmeda. La lluvia ácida se forma a través de las siguientes reacciones fotoquímicas (Kotz *et al.*, 2008):





Estos ácidos son transportados por el viento y depositados tanto en el suelo, así como en plantas y ciertos materiales; debido a la naturaleza oxidante de dichos compuestos, cambiando así sus propiedades químicas y alterando la mayoría de las veces su potencial de hidrógeno (Pimentel *et al.*, 1991).

1.9.1. El ciclo de reacciones.

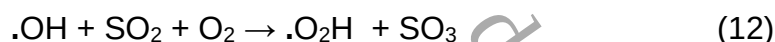
Estas reacciones se despliegan en la tropósfera derivado de un fotón de luz solar chocando con una molécula de ozono, procedente de la capa de ozonó estratosférica generando la formación de oxígeno diatómico y un átomo aislado de oxígeno:



La combinación con una molécula de agua y el oxígeno atómico se generan radicales hidroxilo:



Los hidroxilos reaccionan con los óxidos de nitrógeno y de azufre:



El radical hidroperóxilo ($\text{.O}_2\text{H}$) reacciona a su vez con NO que se incorpora al ciclo.



El ácido sulfúrico se condensa formando gotitas muy pequeñas de (0.1 a 2 μm) y el ácido nítrico se disuelve en las gotitas de la nube. El aumento en la concentración de estas moléculas en la atmósfera ha planteado un grave problema, denominado lluvia ácida. Las gasolinas de baja calidad, el diésel, el combustóleo y en general los combustibles fósiles, contienen compuestos azufrados que no son eliminados completamente en los procesos de refinación; su combustión en motores de combustión interna, calderas generan dióxido de azufre que al entrar en la atmósfera, reacciona y produce al final ácidos fuertes (Gordillo, 1995).

Procesos involucrados en la formación de compuestos ácidos, una vez liberados los contaminantes a la atmósfera ocurre su transporte, transformación en remoción por medio de los vientos y precipitaciones, un factor que influye en la distancia y dirección del transporte es el tiempo de residencia del contaminante en la atmósfera. Se estima que para SO_2 es aproximadamente de 1 a 6 días para el NO_x de 2 a 20 días. Si ambos factores son favorables, los contaminantes pueden ser llevados a miles de kilómetros de su fuente de emisión, a mayor altura la fuerza del viento es más intensa por lo que el transporte se realiza a mayor distancia (Glynn *et al.*, 1999).

1.10. Efectos potenciales de la lluvia ácida.

Estos efectos surgieron a raíz del crecimiento de las concentraciones de lluvia ácida en los lagos, ríos y bosques. Derivado de esto, los ambientalistas han realizado un exitoso debate en el estudio de la lluvia ácida un asunto de interés nacional e internacional (Minoura & Iwasaka, 1996). Afectando a la biosfera acuática y terrestre, así como las infraestructuras de las sociedades humanas. Los contaminantes que acidifican el aire los cuales son arrastrados con la lluvia en un mecanismo semejante a un lavado, de tal forma que al llegar a la superficie las gotas han adquirido un pH menor al valor neutro (Harte *et al.*; 1991). Las siguientes razones se atribuyen al fenómeno de lluvia ácida:

- 1) Emisiones por uso de combustibles fósiles en operaciones industriales, de transporte, agricultura y calefacción residencial.
- 2) Emisiones atmosféricas de combustión de desechos industriales, urbanos y agrícolas.
- 3) Emisiones atmosféricas por uso de fertilizantes y por otros productos químicos en la agricultura.

Garritz y Chamizo (2001) estudiaron el fenómeno de la lluvia ácida la cual puede generar los siguientes efectos:

1. Daños a materiales y monumentos históricos.
2. La corrosión de estructuras metálicas.
3. El rompimiento de los artefactos de nylon.
4. Alteraciones en el crecimiento y desarrollo de vegetación terrestre (la fotosíntesis se vuelve más lenta y las plantas pueden llegar a morir).
5. Alteraciones químicas y físicas del suelo (el suelo se desmineraliza y se degradan las aguas subterráneas).
6. Alteraciones químicas y biológicas de los sistemas acuáticos (los lagos y ríos son incapaces de sostener su población de peces) se ha demostrado que el límite de tolerancia de muchos organismos acuáticos es de un valor de pH ácido de 4 (Garritz & Chamizo, 2001).

1.10.1. Efectos en los ecosistemas acuáticos.

Las precipitaciones ácidas lavan los metales contenidos en el suelo o sedimentos de cuencas hidrográficas y separan partículas de materiales solubles liberando metales en los cuerpos de agua y lagos. Las aguas que escurren en suelos acidificados origina la acidificación de lagos, arroyos y ríos alterando el equilibrio de los iones presentes en el agua aumentando las concentraciones de algunos metales pesados como lo es el aluminio.

El descenso de las poblaciones de peces y otros efectos relacionados con el agua incluyen lo que se producen en los seres humanos que ingieren peces con mayor concentración de metales en su carne y la reducción de ciertos grupos de zooplankton, algas y plantas acuáticas trastornando la cadena alimenticia global de lagos y potencialmente causa desequilibrios ecológicos. Estudios han demostrado que la trucha y el salmón son sensibles a niveles de pH bajos interfiriendo en procesos reproductivos dando origen a deformaciones en el esqueleto. De los 90.000 lagos de Suecia una parte de estos están acidificados en los que 4.000 lo están en tal medida que los peces no pueden sobrevivir, también en la mitad sur de Noruega, en la que unos 90.000 km de ríos y torrentes, cuatro de cada cinco lagos y torrentes están técnicamente muertos o en fase críticas. En Ontario más de 300 lagos, en Canadá se presentan valores inferiores de pH de 5.5 (Glynn *et al.*, 1999).

1.10.2. Efectos en suelos y vegetación.

Cuando la degradación de los minerales se produce lentamente en los suelos la sensibilidad a la acidificación es mayor, cuando el suelo se acidifica se requiere que sus nutrientes se lixivien, lo cual reduce la fertilidad de la tierra por lo que el crecimiento de las plantaciones es acidificante y efecto contrario genera la muerte de la misma. La acidificación libera metales que puede dañar a los microorganismos del suelo siendo responsables de la descomposición; al igual a los pájaros y mamíferos de la cadena alimentaria (Kenneth, 1998).

De igual forma se desprende aluminio de los minerales que lo contienen, compitiendo con los iones calcio y magnesio que entran en el vegetal por las raíces, impidiendo su desarrollo normal. Los efectos finales suelen ser un crecimiento más lento de los vegetales, la caída de hojas, la aparición de manchas en hojas o tallos, e incluso la muerte de los individuos. Investigadores estudiaron el papel de la lluvia ácida en la flora observándose muerte y marchitamiento de árboles en Europa Central generando preocupación por este fenómeno. El dióxido

de azufre cuando se libera en altas concentraciones, deteriora las plantas, disminuye el crecimiento lento de los bosques, especialmente de los árboles de hojas caducas y coníferas (pinos y abetos), sucesos en Alemania, Suiza o en la Rusia Europea. Se ha señalado la posibilidad de una disminución en las cosechas, aunque este factor no ha sido todavía demostrado (Doménech, 1991).

1.10.3. Efectos en las infraestructuras.

En áreas urbanas y rurales cuentan con estructuras sensibles a los efectos de la precipitación ácida; construcciones, las estatuas y monumentos de piedra sufren erosión por efectos de diversos contaminantes; la lluvia ácida ataca también edificios, redes de transporte, suministro de agua, contribuyendo a la corrosión de superficies metálicas, así como restos históricos y artísticos, los monumentos de mármol de Atenas, la catedral de Colonia o los edificios históricos de Cracovia son unos claros ejemplos de los estragos causados por la lluvia ácida (Glynn *et al.*,1999). La lluvia ácida no provoca un daño directo a la salud humana, sus precursores están asociados a la formación de partículas finas y a la disminución de la visibilidad, las concentraciones elevadas se asocian a padecimientos respiratorios.

1.10.4. Alternativas de solución de la lluvia ácida.

La relación entre las emisiones de las plantas de generación de electricidad y la precipitación ácida, emprendieron acciones legislativas hasta 1990, accediendo a la publicación de informes anuales del Programa Estadounidense de Evaluación de la Precipitación Ácida, la comunidad ambientalista y científica, teniendo como encomienda encargarse de la precipitación ácida mediante el control de las emisiones de dióxido de azufre. La Clean Air Act (Ley para el aire limpio), firmada en 1990 por Estados Unidos y Canadá es la primera ley que se enfoca al problema de la precipitación ácida ordenando que se reduzcan el 50 % en los niveles de dióxido de azufre y óxidos de nitrógenos que son los precursores de la lluvia ácida (Glynn *et al.*,1999).

De acuerdo a estudios realizados por Harte en 1991, se han estudiado las siguientes propuestas para reducir el problema de la acidez en el agua de lluvia; considerando algunas de estas medidas:

1. Agregando químicos neutralizantes de ácidos a los miles de lagos amenazados o acidificados. En la estimación del costo de proporcionar dicha protección química a los lagos es relativamente el mismo de eliminar los contaminadores más importantes que causan el problema. Dejando aún más áreas amplias de suelo forestales amenazados sin proteger.
2. Técnica depuración; procedimiento químico para eliminar los gases formadores de ácidos en las chimeneas de la mayoría de las industrias emisoras de contaminantes.
3. Limpieza de las industrias al cambiar a carbonos y aceites que contengan menos azufre o por completo a formas diferentes de energía (como la solar o la nuclear) que no producen contaminantes formadores de ácidos.
4. La utilización de energía de un modo más eficaz con el fin de que podamos obtener nuestro nivel actual de beneficios a partir de menos gasto de energía, es decir, sin la combustión de demasiado carbón, petróleo y gas. (Harte *et al*; 1991).

1.10.5. Medidas de control de la lluvia ácida.

Las plantas energéticas a base de carbón con un alto contenido de azufre deben de reducir la contaminación. Los limpiadores químicos que previenen la emisión de los contaminantes ofrecen una de las posibles soluciones, un limpiador químico es un artefacto que procesa las emisiones gaseosas con el fin de disolver, precipitar o consumir los contaminantes indeseables. Los catalizadores que reducen la emisión de óxidos de nitrógeno, tanto de fuentes estacionarias como móviles, ofrecen también otro ejemplo del papel que la química puede jugar en el mejoramiento de la calidad del aire. (Pimentel & Coonrod, 1995).

La reducción de los efectos de la contaminación del SO₂. Una de las maneras más directas es quitar el azufre de los combustibles fósiles antes de su combustión, sin embargo es difícil de realizar por razones tecnológicas. Una de las estrategias más baratas, aunque menos eficaz es eliminar el SO₂ a medida que se va produciendo (Raymond *et al.*, 1992).

1.10.6. Los ácidos biogeoquímicos en nuestra vida cotidiana.

El último punto sobre el que vale la pena reflexionar en relación con los ciclos biogeoquímicos es que las sustancias tóxicas y de desechos producidas por las actividades humanas también se mueven por ellos, tanto en los ciclos sedimentarios como en los atmosféricos. El conocimiento de las rutas que sigue la materia por estos ciclos en los ecosistemas nos permitirá entender y predecir la manera en la que circulan alrededor del planeta muchas de estas sustancias, como son los compuestos radiactivos, los metales pesados, los desechos industriales y domésticos, entre otros. Entre ellos están incluidos productos de uso cotidiano, de los que dependemos completamente, como los plásticos, los fertilizantes, los pesticidas, y los hidrocarburos, sin los cuales no sería posible el modo de vida de las sociedades humanas que conocemos hoy en día.

1. Es difícil cuantificar las rectificaciones sobre el ambiente debido a que son una función, sin embargo parece ser que los lechos de roca silíceos, suelos delgados y aguas blandas de las áreas que ahora reciben el sedimentos, son en particular vulnerables. Se han observado reducciones significativas en las poblaciones de peces, acompañadas por un decremento que se asocia con la variedad de especies en todos los niveles de la cadena alimentaria (Strauss & Mainwaring, 2008).

1.11. Dispersión de contaminantes.

La generación de gases contaminantes de fuentes móviles, fijas o de otra índole, los cuales son emitidos a la atmósfera, es casi imposible predecir su evolución dentro de la misma, debido a los complejos factores que inciden su ruta de trayectoria, mismos que se puede predecir descargando datos meteorológicos.

1.11.1. Factores meteorológicos.

Los factores meteorológicos de interés para evaluar la dispersión de los contaminantes son: velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad, turbulencia, estabilidad atmosférica y efectos topográficos (Kiely, 1999), estos parámetros varían e incluso muchas veces en las grandes ciudades llegan a variar de mes con mes, La atmósfera ejerce un papel activo en la contaminación por medio de las condiciones meteorológicas responsables en el transporte y los procesos de transformación, mismos que se definen de la manera siguiente :

Temperatura: Grado de dispersión de los gases.

Humedad: Inestabilidad de los gases, ascienden disminuyendo la temperatura aumentando su grado de saturación.

Radiación: Solar incidente y reflejada en la tierra, relacionada con los fenómenos de inversión térmica, las superficies de inversión actúan como barreras impidiendo la dispersión del contaminante.

Viento: Cuando es mayor la velocidad, mayor es el grado de dispersión de los gases, la velocidad del viento se divide en rangos que se pueden dar en varias unidades, que van desde millas por hora a metros por segundo. Aunque también se pueden registrar periodos con velocidad cero, los cuales se reportan como calma (Wark *et al.*, 1998).

CAPITULO II. MÉTODO

2.1. Área de estudio.

El municipio de Huimanguillo se ubica en los 17° 50' N, 93° 23' O a una altitud de 20 msnm el clima es cálido con lluvias todo el año AF con una temperatura media anual de 27.8 °C mostrada en la Figura 7. La Venta se encuentra ubicada a 10 metros de altitud. Geográficamente el área de estudio se ubica dentro de La Venta que se localiza en los 18°05'17'' y 18°05'30'' de latitud Norte y 94°02'41'' y 94°02'44'' de longitud Oeste en Villa La Venta, Huimanguillo, Tabasco (INEGI, 2005).



Figura 7: Localización de la Venta, Huimanguillo, Tabasco.

Fuente: INEGI, 2005.

2.1.1. Clima.

Su ubicación es la zona tropical, cercana al Golfo de México y su escasa elevación con respecto al nivel del mar determinan el desarrollo del clima cálido húmedo con influencia marítima, en el que la variación de la temperatura es moderada, la invasión de las masas de aire es directa y provoca gran parte de la precipitación total anual (López *et al.*, 1997). Sin embargo presenta abundantes lluvias en verano, de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988).

2.1.2. Temperatura.

Su temperatura media anual es de 26.2°C presentándose la máxima en mayo con 30.6°C, la mínima en diciembre y enero con 20°C.

2.1.3. Precipitación anual.

La precipitación es estacional; con un promedio anual es de 2,643 mm, con un promedio máximo mensual de 335 mm en septiembre (Ortiz, 2001) en el que se presentan las máximas precipitaciones originadas por los procesos convectivos de las masas de aire caliente y húmedo que invaden la zona; de octubre a marzo la precipitación es producto del frente frío originado por el choque de los Nortes con los vientos alisios, manifestándose en lloviznas (INEGI, 1997; Rivera *et al.*, 2002) clasificaron los suelos como Gleysoles presentando saturación por agua por lo menos 1 mes al año. Las comunidades vegetales que se encuentran en la zona corresponden a selva mediana perennifolia, tular, popal, palmar y manglar (Navarrete, 2005).

2.1.4. Humedad relativa.

En regiones con clima tropical húmedo presentan valores de humedad relativa muy altas anualmente, el estado de Tabasco se caracteriza por tener un clima tropical húmedo es períodos estacionales secos y lluviosos donde la humedad relativa promedio anual se estima en 83 % con un máximo de 86% en febrero y la mínima de 75% en mayo (Veleza *et al.*, 2007).

2.1.5. Recursos Naturales.

El municipio de Huimanguillo cuenta con árboles maderables que se utilizan para la elaboración de muebles, existen también yacimientos petrolíferos en 271 pozos en explotación los cuales son los siguientes: Bacal 17, Blasillo 27, Presidente 63, Chamigua 1, Fénix 1, Girdas – TA 16, Iris 2, Jujo 26, La Central 6, **La Venta 25**, Ogarrío 55, Paredón 9, Tecominoacán 23. Se tiene una producción diaria de 148,542 barriles de petróleo crudo y 337.8 millones de pies cúbicos de gas natural.

Gran parte de los recursos forestales han sido talados, lo cual ha provocado la formación de selva secundaria diferente. Otro tipo de vegetación importante son los popales, suelos bajos inundables, en donde se cultiva maíz, frijol y calabaza en diferentes épocas del año.

Por último se detecta una extensión bastante grande de sabanas (140,000 has) utilizadas para la ganadería principalmente, cuyas características son pasto natural de 1.5 m de altura (ENEGI, 2005). Esta actividad se ha incrementado en los últimos años, sobresaliendo la industria petrolera, en particular la perforación de pozos.

Las mayores velocidades medias de los vientos, se concentran en los meses de noviembre y diciembre con 30 km/h (8.3 m/s), localizándose en el mes de mayo los mínimos, siendo del orden de los 18 km/h (5 m/s).

2.1.6. Fuentes móviles.

Las emisiones de Gases Orgánicos Totales "GOT", monóxido de carbono "CO" óxidos de nitrógeno "NO_x", óxidos de azufre "SO_x", partículas, compuestos tóxicos del aire son emitidas también por vehículos automotores, por ello para realizar las estimaciones respectivas de sus emisiones debido a su gran magnitud se estudian por separado de otras fuentes de área.

Las emisiones de los vehículos automotores consisten en un gran número de contaminantes resultantes de varios procesos, sin embargo las emisiones más comúnmente consideradas son las del tubo de escape y de varios procesos de emisiones evaporativas, por lo que los contaminantes provenientes del tubo de escape de los vehículos automotores son los que más contaminan (Mendoza 2002).

En la Tabla 7 se muestra el parque vehicular de la localidad de La Venta, Huimanguillo, Tabasco de acuerdo a datos de la Receptoría de Rentas de La

Venta. Existen un total de 2,035 vehículos de motor en circulación, para los cuales son 1,002 automóviles, 840 camiones y camionetas de carga y 152 motocicletas, 41 remolques que abarcan del periodo de 2010 hasta el 2012. Para los cuales en 2010, fueron un total de 1,491 y en el 2012, fueron 2,035 vehículos de motor registrados en circulación en la localidad de La Venta, Huimanguillo, Tabasco. De esta manera se tiene en consideración el efecto de los contaminantes generados por estos (Secretaría de Finanzas, 2013).

Tabla 7: Vehículos de motor registrados en circulación en La Venta, Tabasco.

Vehículos/año	2010	2011	2012
Camiones y camionetas	688	720	840
Automóviles	689	840	1002
Motocicletas	89	102	152
Remolques	25	32	41
Total	1491	1694	2035

2.2. Localización del sitio de estudio.

Los muestreadores de lluvia se localizaron en el techo del edificio de laboratorios del Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta, ubicado en Circuito Tecnológico No. 1 Col. El Cuatro, C.P. 86410 Villa La Venta, Huimanguillo Tabasco, presentado en la figura 8 y se localiza en los 18°05'17'' y 18°05'30'' de latitud Norte y 94°02'41'' y 94°02'44'' de longitud Oeste, a 10 msnm (INEGI, 2005).



Figura 8: Vista satelital del Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta (ITSLV). Fuente: Google earth.

2.3. Muestreo y caracterización fisicoquímica de la lluvia.

- Se instalaron soportes para los colectores de agua de lluvia en el sitio de muestreo para resguardo de los recipientes colectores.
- Las muestras de lluvia se colectaron en recipientes de plástico de PVC de 5 litros, las cuales se ubicaron arriba del edificio de los Laboratorios, del Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta Tabasco.
- La recolección de muestras de agua de lluvia obtenidas, se realizó en horas posteriores al evento de lluvia en recipientes limpios de plástico (polietileno).
- Las muestras fueron analizadas en un tiempo no mayor a veinticuatro horas después del evento de lluvia y se llevaron inmediatamente al laboratorio de química, para su posterior análisis determinando: el pH, conductividad, cloruros, nitratos, sulfatos y bicarbonatos. Si el análisis no se realizó inmediatamente las muestras se guardaron en recipientes de polietileno, en el refrigerador a una temperatura de 4°C.
- Los muestreos de lluvias se llevaron a cabo en un periodo de seis meses en cada evento de lluvia.

Posteriormente de haber tomado la muestra, una vez desocupados los colectores de lluvia se lavaron y enjuagaron (limpiaron) con una solución de HCl diluido y se enjuagaron con agua destilada para ser expuestos otra vez al evento de lluvia. (García *et al.*, 2006). El procedimiento para la captación de precipitación húmeda por medio de colectores manuales de lluvia ha sido utilizada por otros autores (Herrera & Rodríguez, 2009).

2.4. Técnicas de análisis de laboratorio.

2.4.1. Determinación de pH.

El pH se determinó sin agitación con un pH-metro, equipado con un electrodo de referencia, marca “Conductronic” Medidor portátil de pH, Conductividad y Temperatura Modelo PC 18, con electrodo de pHP100C-BNC, con celda de inmersión, su tablero de lectura es a base de cristales líquidos (LCD) permitiendo más fácil su lectura bajo la luz solar el cual se observa en la figura 9. El cual se calibro con tres soluciones buffer de pH 4, 7 y 10 de acuerdo a la norma NMX-AA-008-2000. El pH se calibró cada vez que se realizó la determinación.



Figura 9: Vista general del pH-metro, Marca Conductronic.

2.4.2. Determinación de la conductividad.

La conductividad se determinó con un conductímetro marca “Conductronic” Medidor portátil de pH, Conductividad y Temperatura Modelo PC 18, con

electrodo de pH100C-BNC, con celda de inmersión, Cubierta de PVC electrodos de Níquel platinizados, sensor de temperatura ST11, acero inoxidable 316, su tablero de lectura es a base de cristales líquidos (LCD) permitiendo más fácil su lectura bajo la luz solar, el cual se muestra en la figura 10. De acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2000. El conductímetro se calibra cada vez que se requirió la necesidad de medir la conductividad al agua de lluvia. Para la calibración de este equipo se utilizaron soluciones buffer con pH de 4,7 y 10 (Norma NMX-AA-093-SCFI-2000).



Figura 10: Vista general del pH-metro, Marca Conductronic.

La importancia de medir este parámetro (conductividad), radica en que si existen altas concentraciones de sales disueltas en el agua, la conductividad será alta. La conductividad del agua de lluvia debe estar entre 10-60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Norma NMX-AA-093-SCFI-2000).

2.4.3. Determinación de cloruros (Cl^-).

Los iones cloruros se determinaron de acuerdo a la norma Mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001 por el método argentométrico (ver Anexo III). La determinación de cloruros se realizó por el método volumétrico (titulación). Antes de iniciar la valoración, las muestras de soluciones se ajustaron a un pH en el intervalo 7.0 y

8.3 (Figura 11) se titularon utilizando una solución de nitrato de plata (AgNO_3) y un indicador de cromato de potasio (K_2CrO_4) (Norma NMX-AA-073-SCFI-2001).

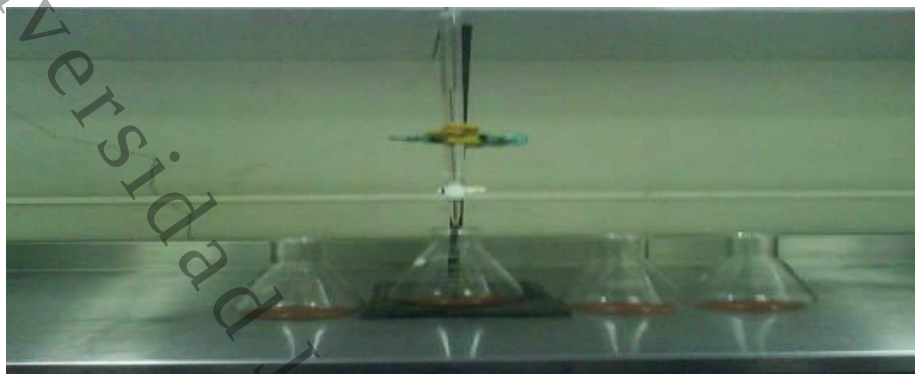


Figura 11: Análisis de cloruros por el método argentométrico.

2.4.4. Determinación del ión sulfato (SO_4^{2-}).

Se empleó la técnica turbidimétrica de sulfato de bario de acuerdo a la norma NMX-AA-074-1986 (ver anexo V). El ión sulfato precipita con el cloruro de bario en una solución de ácido clorhídrico 1:1, formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. La absorción espectral de la suspensión del sulfato de bario se determinó a lecturas de 500 nm en el Espectrofotómetro DR 2700 es un espectrofotómetro del espectro visible, con un rango de longitud de onda de 400 a 900 nm, Marca HACH DR 2700 (Figura 13). Con la concentración y absorbancia del ión sulfato se determinó la curva de calibración (Norma NMX-AA-074-1986).



Figura 12: Espectrofotómetro, Marca HACH DR 2700.

2.4.5. Determinación del ión nitrato (NO_3^-).

Se utilizó la norma Mexicana NMX-AA-079-1986. Para la determinación de nitratos por el método de sulfato de brucina (ver Anexo IV). Este método se basa en la reacción entre el ión nitrato y la brucina que produce un color amarillo y que puede ser utilizado para una estimación colorimétrica del nitrato. La intensidad del color se determinó a 420 nm, en el Espectrofotómetro DR 2700 es un espectrofotómetro de espectro visible, con un rango de longitud de onda de 400 a 900 nm, Marca HACH DR 2700 (Norma NMX-AA-079-1986).

2.4.6. Determinación de carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-).

Se determinó por el método 2320 B-1995, para la determinación de alcalinidad del agua APHA 1995 (ver Anexo VI). Se tomaron 5 ml de la muestra en vasos de 50 ml, se le agregaron 3 gotas de indicador de fenolftaleína al 0.25%, si aparece un color rosa, se procede a titular con HCl 0.01N hasta un vire incoloro, si no aparece el color rosa, reportar carbonatos igual a cero. Se procedía con la siguiente determinación que es la de bicarbonato, se le agregaron 3 gotas de azul de bromofenol 0.04% al mismo vaso apareciendo un color azul y se continuaba con la titulación de HCl 0.01N hasta la aparición de un color verde (Método 2320 B-1995, APHA, 1995).

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinaron los diferentes parámetros fisicoquímicos para evaluar el agua de lluvia, a continuación se describen los resultados de la investigación. En la zona de estudio en la localidad de La Venta Huimanguillo Tabasco durante el período de seis meses (septiembre 2011 a febrero del 2012) se recolectaron un total de 51 muestras, los resultados se observan en la Tabla 18 del anexo IX.

3.1. Potencial de Hidrógeno (pH).

En la Figura 13 se presenta el comportamiento de los resultados de pH de las muestras analizadas durante el periodo de muestreo, se determinó si el pH de la lluvia presenta valores considerados como lluvia ácida. Durante los meses de monitoreo del agua de lluvia, se registraron en 3 meses valores de pH mínimos en el rango de 4.0 a 5.0 (Tabla 18), siendo el promedio semestral de 5.36 que se muestra en la Tabla 14 (ver anexo VII), donde 20 (39.21%) de las muestras analizadas registraron acidez en el rango de pH de 4 a 5; 19 muestras registraron pH en el rango de 5.0 a 6 (37.25%) y 12 muestras registraron pH en el rango de 6 a 7 (23.52%) durante el período de estudio (septiembre 2011-febrero 2012). De acuerdo a Galloway *et al.*, (1984) considera lluvia ácida como aquella lluvia cuyo valor de pH sea inferior a 5.6, por lo que podemos observar en la Figura 13, que los resultados de pH en los eventos de lluvia presentan valores por debajo de 5 en los días 9, 12, 13, 15, 17 y 20 del mes septiembre y también los días 4, 15 y 17 correspondientes al mes de octubre, así también se encontraron valores de pH por debajo de 5.6 en los eventos de los días 20 del mes de octubre, el día 30 del mes de enero, 2,9 y 13 del mes de febrero del 2012, con los resultados anteriores se demuestra la presencia de lluvia ácida en la zona de estudio.

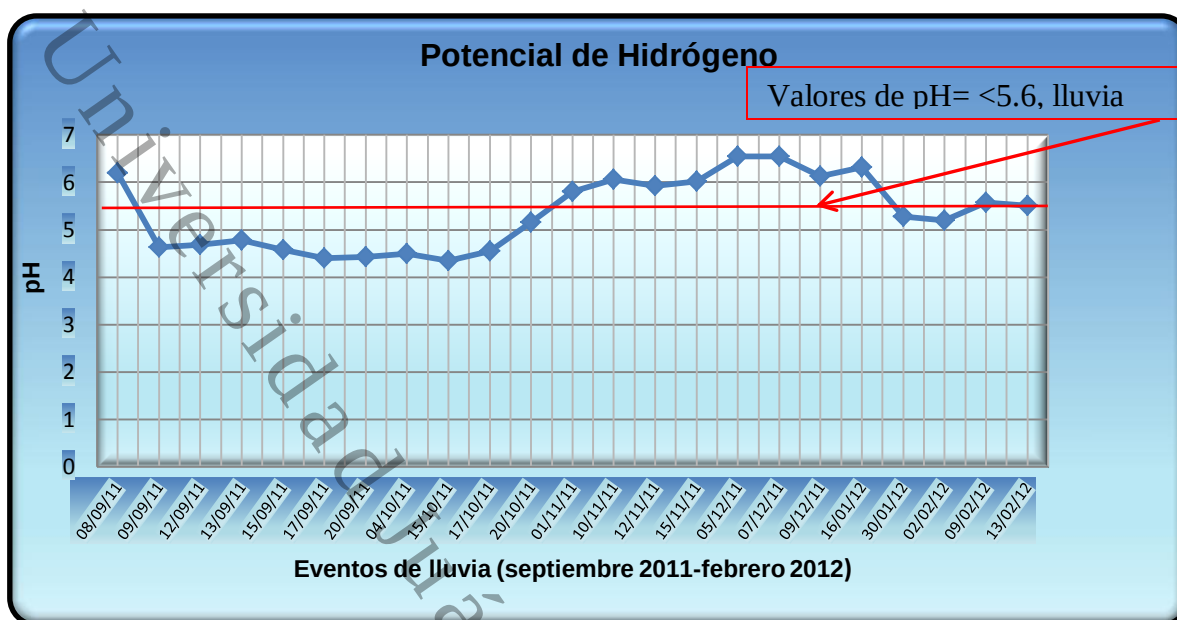


Figura 13: Comportamiento del pH (septiembre 2011- febrero 2012).

En el trabajo de investigación sobre el agua de lluvia, realizado por Xicoténcatl (2002) en Cunduacán Tabasco, se reportaron valores de pH en el rango de 3.49 a 6.37. Así mismo para el 2009 en el mismo municipio otro trabajo de investigación obtuvo valores de pH en el rango de 4 a 6.54 (Domínguez, 2009). Podemos observar que los resultados obtenidos durante el periodo de análisis en la zona de estudio en La Venta, Tabasco, oscilan en el rango de pH de 4.65 a 6.37, siendo estos resultados similares a los resultados de estudios reportados anteriormente. Por lo tanto, podemos decir que la lluvia en la Venta, Tabasco tiene más tendencia a la acidez. Hay que destacar que en la zona de muestreo se encuentra a 2 km de la procesadora de gas de La Venta Tabasco y alrededor del sitio de muestreo se ubican 25 pozos de perforación, por otra parte las lluvias con valores de pH menores de 5.0 demuestran influencia de contaminantes antropogénicos, pero no a un nivel mayor que lo generado por las emisiones naturales de compuestos de azufre, para pH menores a 5.0 son indicativos de un efecto de las emisiones atmosféricas de carácter industrial y urbano, es decir identifican el problema de lluvia ácida.

La Figura 14 muestra un histograma de los valores de pH promedios mensuales durante el periodo de muestreo en el cual observamos valores de pH menores a 5 en los meses de septiembre y octubre del año 2011.

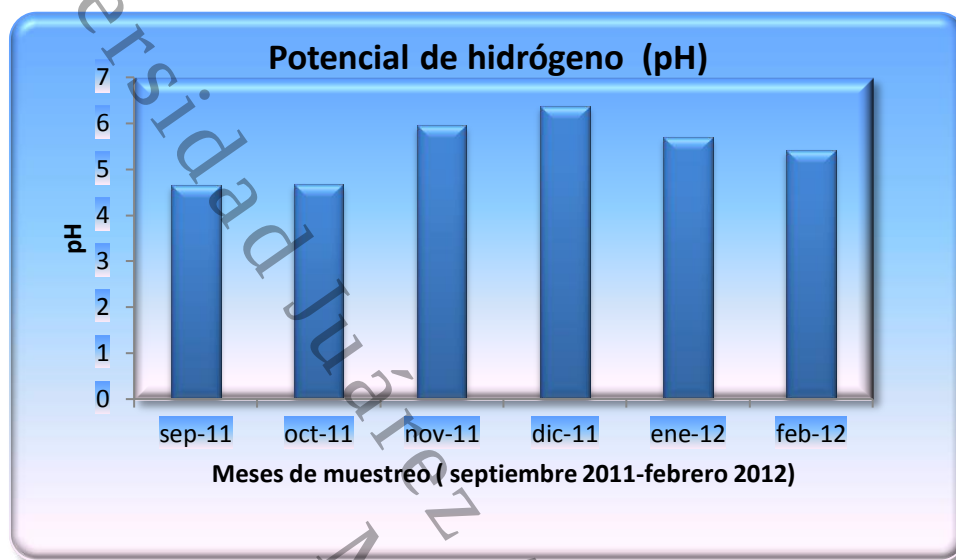


Figura 14: pH promedio mensual.

Con respecto a otros estudios realizados de pH de la lluvia en la República mexicana, se encontraron valores similares en el Estado de México, en el Tajín Veracruz, en Cunduacán, Tabasco y Monterrey Nuevo León, los resultados se muestran en la Figura 15, donde los valores altos se registran en la ciudad de Monterrey variando en 1.58 unidades con respecto a los resultados obtenidos en la Venta Tabasco.

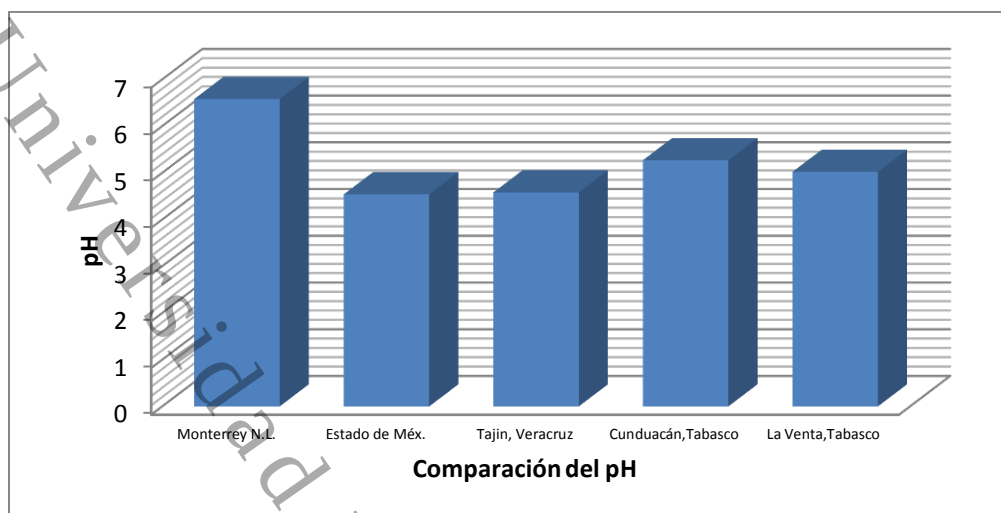


Figura 15: Comparación de pH en diferentes ciudades.

En la Tabla 8 se incluyen los resultados de pH mostrando valores mínimo, máximo y promedio de pH del agua de lluvia colectada en la localidad. En el que se encontraron valores significativos en el pH del agua de lluvia, observándose el valor mínimo de 4.20 registrado en el mes de septiembre de 2011 y el valor máximo de 6.77 en el mes de diciembre del 2012 durante el periodo de estudio.

Tabla 8: pH promedio mensual.

Meses de muestreo del agua de lluvia (2011-2012)	pH			
	Min	Máx	Media	Desviación Estándar
Septiembre	4.2	6.2	4.68	0.47
Octubre	4.30	5.50	4.65	0.40
Noviembre	5.80	6.2	5.96	0.17
Diciembre	5.9	6.77	6.37	0.31
Enero	5.04	6.5	5.7	0.73
Febrero	4.9	6.2	5.42	0.42

En relación al valor de pH mínimo de 4.2, registrado en La Venta puede deberse a que se realiza el lavado atmosférico de todos los elementos alcalinos que se encontraban suspendidos en la atmósfera, provenientes de los incendios forestales y a la dispersión de contaminantes producidos por baterías de separación cercanas a la localidad, así como una procesadora de gas que emite diariamente Óxidos de azufre (SO_x), la presencia del (SO_x) se debe a que los hidrocarburos obtenidos en los yacimientos de la zona son de los llamados

amargos porque contienen H_2S , así como emisiones de fuentes móviles entre otras actividades. Estos datos hacen evidentes la presencia de estos contaminantes en la atmósfera de La Venta, Tabasco afectando de esta manera la calidad del agua de lluvia, convirtiéndola en la llamada lluvia ácida (Mendoza, 2002). Aunado a las características climáticas del sitio de estudio como son humedades relativas en las noches mayores del 90% (Del Ángel, 2007), ocasionan tiempos de humectación muy altos, que aceleran las reacciones de los contaminantes como el SO_2 , con la superficie de los metales. Las humedades relativas altas (80-100%) hacen que algunas sustancias se diluyan y se combinen siendo más reactivas y dañinas como el SO_2 , SO_3 y los NO_x , aceleran la velocidad de reacción de moléculas acidificantes. Por otro lado la temperatura favorece que los gases y partículas se solubilizan dentro de las gotas de lluvia, en áreas tropicales este parámetro puede propiciar una mayor frecuencia de lluvia ácida. En base a estudios realizados en Cunduacán, la dirección de viento se asocia en mayor proporción con pH ácidos que con alcalinos lo que se atribuye a la posible variación de la dirección del viento que por el impacto aditivo de las concentraciones de (SO_2 , NO_x , partículas, otros) provenientes de otras direcciones, los cuales modifican el pH de la lluvia (Jacinto, 2001).

De acuerdo a los resultados experimentales de pH encontramos valores menores a 5 en los meses de septiembre y octubre dentro del periodo de observación por lo que de acuerdo a estudios realizados, la dirección del viento influye en la dispersión de los contaminantes en el estado de Tabasco y varían durante las épocas del año, siendo los dominantes de gran velocidad los que provienen del Noroeste en épocas de lluvia y los predominantes son del Este y Este-Sureste más frecuentes en épocas de primavera, (Ramos, 2003) por lo que se le atribuye a este parámetro meteorológico la dispersión de contaminantes en esos meses.

3.2. Conductividad eléctrica (C. E).

El comportamiento de los resultados obtenidos de conductividad de los 23 eventos de lluvia analizadas durante el periodo de muestreo de septiembre 2011 a febrero 2012; se presentan gráficamente en la Figura 16, en la cual se observan valores de conductividad superiores a 70 μS durante los eventos de lluvia en los días 9 de septiembre y 5, 7, 9 correspondientes al mes de diciembre del año 2011. En otros estudios de lluvia realizados en Cunduacán, se han encontrado resultados de conductividad en el rango de 9.7 a 207.1 μS (Ramos, 2001), así mismo *Xicoténcatl* (2002), en su trabajo de investigación obtuvo valores de conductividad de 20.2 a 193.4 μS ; como se puede observar los resultados obtenidos en esta investigación (septiembre 2011-febrero 2012), no registran variaciones con los datos obtenidos en investigaciones anteriores (rango de 6.6 a 76 μS).



Figura 16: Comportamiento de conductividad (septiembre 2011- febrero 2012).

La Figura 17 muestra gráficamente por medio de histogramas el comportamiento del promedio mensual del análisis fisicoquímico de conductividad determinado al agua de lluvia de La Venta H. Tabasco durante el periodo de septiembre 2011-febrero 2012. En la que observamos la conductividad más alta en el mes de diciembre del año 2011.

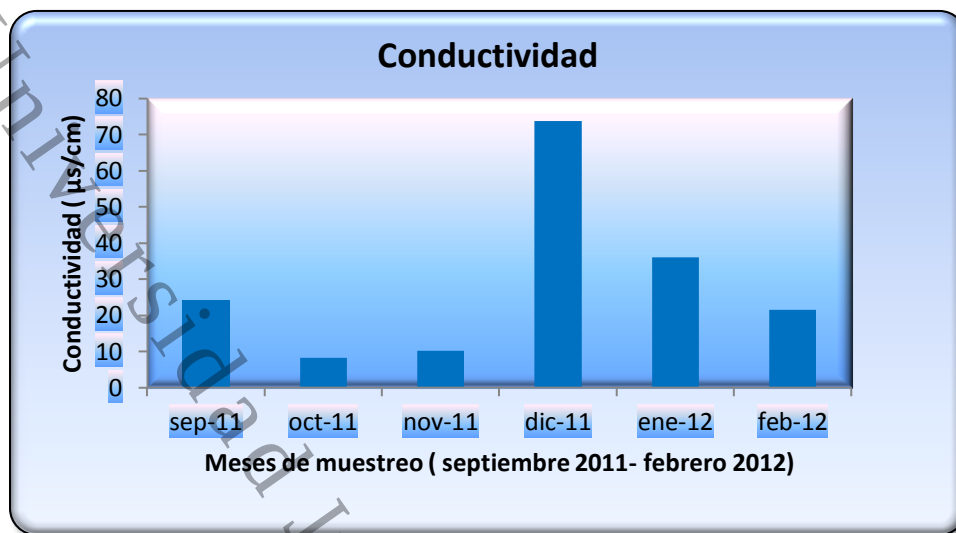


Figura 17: Conductividad promedio mensual.

La conductividad eléctrica de la lluvia nos indica de forma indirecta de la presencia de sales disueltas, al tener valores elevados de conductividad en el agua de lluvia se puede decir que existen sales que incrementan la conductividad. En la Tabla 9 expone los datos estadísticos de conductividad eléctrica promedio mensual del agua de lluvia analizada durante el periodo de estudio (septiembre 2011 a febrero 2012).

Tabla 9: Conductividad promedio mensual en (µS/cm).

Meses de muestreo del agua de lluvia (2011-2012)	Conductividad (µS/cm)			
	Min	Máx	Media	Desviación Estándar
Septiembre	6.6	75.2	24.10	23.21
Octubre	6.6	9.8	8.3	1.31
Noviembre	8.8	12.2	10.18	1.13
Diciembre	71.76	76	73.82	1.58
Enero	11.6	62	36	26.18
Febrero	10.6	23.6	19.76	5.27

En el cual se obtuvo un valor mínimo de 6.6. µS registrado en los meses de septiembre-octubre del año 2011, y el valor máximo fue de 76 µS en el mes de diciembre del mismo año, obteniendo un valor promedio de 18.68 µS que se muestra en la tabla 14 (ver anexo VII), de acuerdo a los resultados obtenidos de conductividad del agua de lluvia en la zona de estudio se observa que en el mes

de diciembre existe una mayor conductividad, lo cual se puede asociar debido a que en la atmósfera urbana es donde se encuentran las mayores emisiones de metales y cationes que influyen en la conductividad del agua de lluvia con las concentraciones más elevadas de los contaminantes presentes en el ambiente. Por lo tanto la conductividad eléctrica del agua de lluvia nos indica de forma indirecta la presencia de sales disueltas, al tener valores elevados de conductividad en el agua se puede decir que existen sales que incrementan la conductividad. Los valores registrados de conductividad durante los eventos de lluvia se encuentran en el Anexo X.

Cabe mencionar que durante las primeras semanas de muestreo se presentaron valores similares de conductividad, coincidiendo con el inicio de la época de lluvias, siendo las primeras lluvias las encargadas de limpiar la atmósfera.

Esto es debido también a un aumento de contaminantes en la atmósfera generalmente de fuentes antropogénicas, incendios forestales y la circulación de los vientos cercanos al lugar.

En el mes de Diciembre los vientos alcanzan velocidades de 30 km/h (8.33 m/s) y en el mes de Junio las velocidades son de 18 km/h (5 m/s). Los vientos predominantes tienen alta influencia del Golfo de México por lo que podríamos encontrar en la lluvia mayores aportes de partículas de NaCl, que aumentan la conductividad de la lluvia. Las partículas de NaCl se aerotransportan con los vientos provenientes del Golfo de México.

3.3. Cloruros (Cl⁻).

Después del análisis fisicoquímico de las muestras del agua de lluvia colectadas en La Venta durante el período (septiembre 2011 a febrero 2012) en la Figura 18 se presenta el comportamiento de los resultados obtenidos de la concentración de cloruros en cada evento de lluvia, presentando valores de concentraciones de 35.45 y 28.36 ppm los días 7 y 9 de diciembre del año 2011 respectivamente.

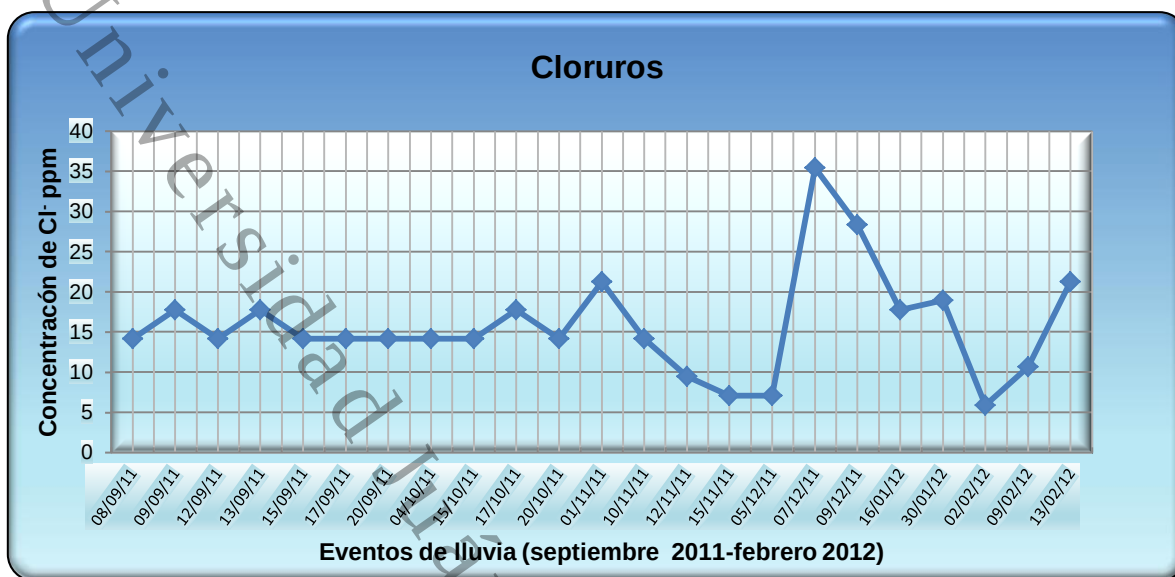


Figura 18: Comportamiento de los cloruros (septiembre 2011 a febrero 2012).

Como se muestra en la Figura 18, la concentración mayor de cloruros se refleja en el mes de diciembre del año 2011, mientras que en el evento de lluvia del 2 de febrero del año 2012 presento una concentración del ion cloruro del 5.90 ppm siendo esta la más baja durante el periodo de muestreo. Así mismo podemos observar en la Figura 19, los resultados promedio mensuales de concentración de cloruros obtenidos durante el periodo de muestreo observando la concentración más alta de ión cloruro de 29.37 ppm en el mes de diciembre y la más baja de 10.34 ppm obtenido en el mes de noviembre.

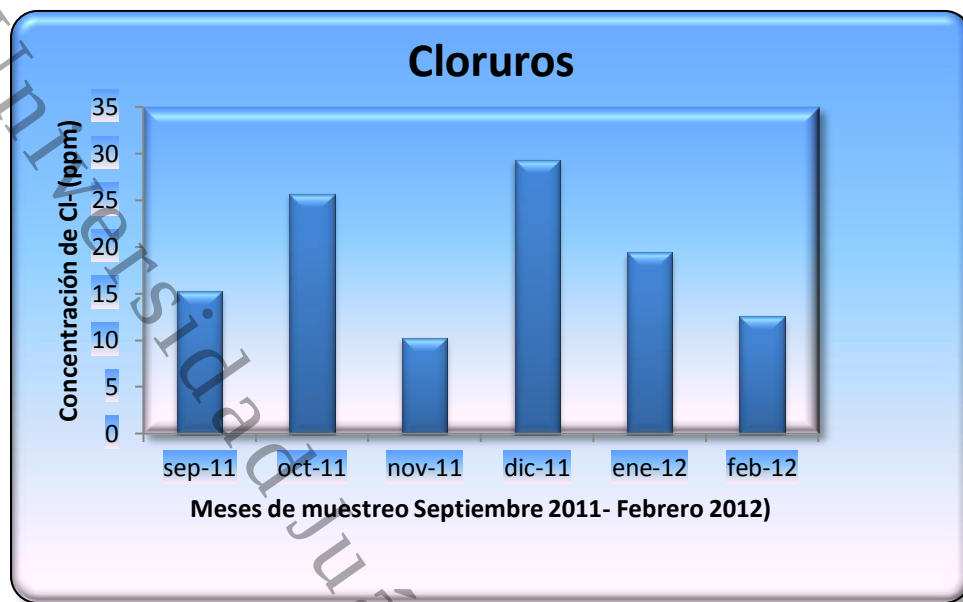


Figura 19: Cloruro promedio mensual.

Como podemos observar en la Tabla 10 se presentan los resultados estadísticos obtenidos de las concentraciones del ión cloruro presentando valores máximos y mínimos, indicando concentraciones altas obtenidas en los meses de diciembre 2011 y enero 2012, registrando un valor máximo de 35.45 ppm y el valor mínimo de concentración del ión cloruro fue de 3.54 ppm, mismo que se registró en el mes de febrero, estos valores se ve reflejados también en la Tabla 14 (ver anexo VII) estos valores. Estos resultados obtenidos en el periodo de análisis muestran ligeras variaciones con resultados anteriores en otras investigaciones.

Tabla 10: Concentración de Cloruros promedio mensual en (ppm).

Meses de muestreo del agua de lluvia (2011-2012)	Cloruro (Cl⁻) en (ppm)			
	Min	Máx	Media	Desviación Estándar
Septiembre	14.28	21.27	15.19	2.57
Octubre	14.18	21.27	16.54	3.54
Noviembre	7.07	14.18	10.24	3.73
Diciembre	14.18	35.45	29.37	8.61
Enero	14.18	21.27	19.49	3.54
Febrero	3.54	28.36	12.60	8.33

Estudios realizados en Cunduacán indican que se encontraron concentraciones del ión cloruro de 3.94 ppm (Domínguez, 2008), así mismo en otras investigaciones realizadas en el año 1998 al 2001 se reportaron valores de cloruros en el rango de 0.09 a 5.06 ppm (Ramos, 2001).

El comportamiento de los resultados de cloruros del total de las muestras de agua de lluvia analizadas en la Venta durante el periodo de agosto 2011- febrero 2012; en estudios realizados por Del Ángel (2006), indican la cantidad de deposición de cloruros en materiales tiene una relación directa con la distancia de la costa y su presencia depende de frentes fríos provenientes del norte traspasando el Golfo de México; debido a que el ambiente de La Venta se encuentra a 15 Km de las costas del Golfo de México, esto puede relacionarse que cerca del sitio de estudio se encuentran cercanas las Costas del Golfo de México, encontrando valores de cloruros altos, además la cercanía a la costa aportan aerosol marino a la química de precipitación, como son los iones Na^+ , Cl^- y Mg^{2+} .

3.4. Sulfatos (SO_4^{-2}).

En la Figura 20 se muestra gráficamente el comportamientos de los valores obtenidos de la concentración de sulfatos de cada evento de lluvia analizadas durante el periodo de septiembre 2011-febrero 2012; se observan pocas variaciones de las muestras analizadas en los primeros meses de muestreo, encontrándose en el rango de 0.04-0.99 ppm, la concentración mayor de sulfatos se refleja durante el evento del 9 de diciembre del 2011, mientras que las concentraciones menores de 0.080 y 0.070 ppm se ven reflejadas durante los eventos del mes de febrero del año 2012, respectivamente.

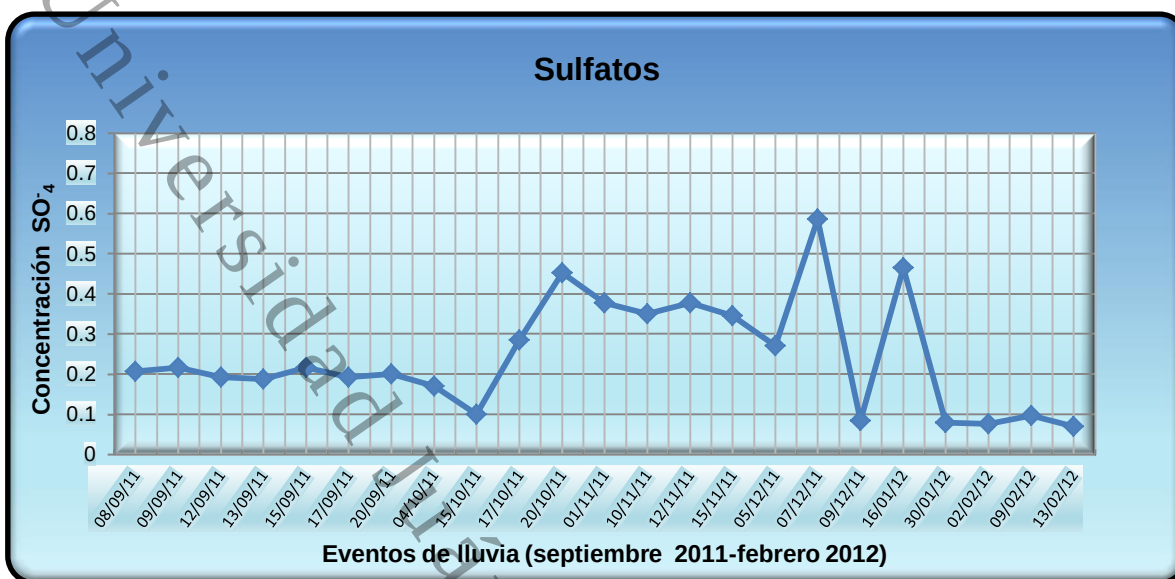


Figura 20: Comportamiento de sulfatos (septiembre 2011 a febrero 2012).

La Figura 21 presenta los valores promedio mensual de la concentración de sulfatos observando el valor promedio más alto de 0.365 ppm registrado en el mes de diciembre y el valor de concentración más bajo de 0.081 ppm se observa en el mes de febrero.

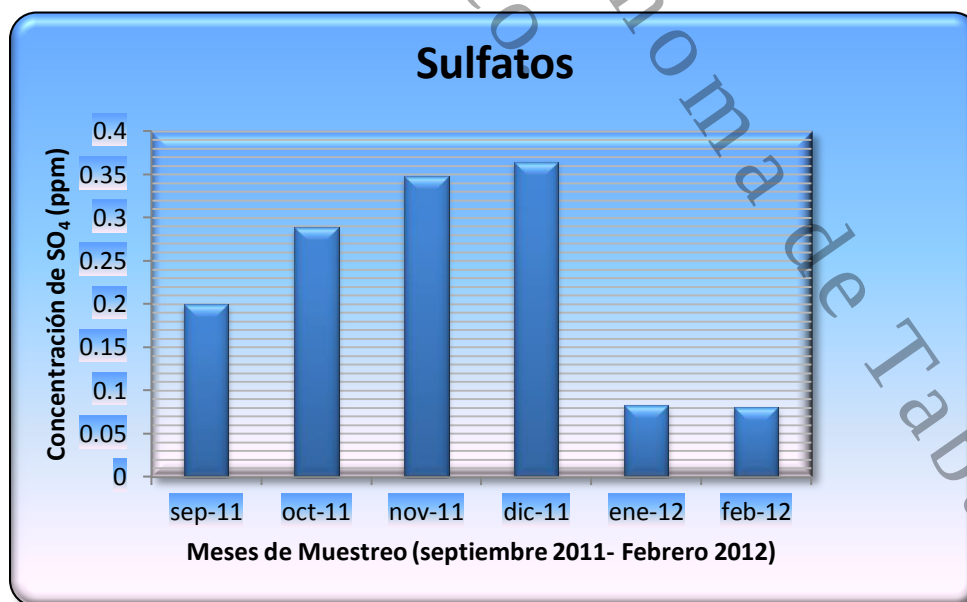


Figura 21: Sulfatos promedios mensuales.

En relación a los resultados de las concentraciones de sulfatos, en la Tabla 11 presenta los valores de las concentraciones de sulfatos promedios mensuales del agua de lluvia recolectadas durante el periodo de muestreo obteniendo el valor mínimo de 0.04 ppm y el valor máximo en 0.99 ppm, estos valores de igual forma se observan en la Tabla 14 (ver anexo VII) respectivamente.

Tabla 11: Concentración de sulfatos (promedio mensual en ppm).

Meses de muestreo del agua de lluvia (2011-2012)	Sulfatos (SO_4^{-2}) en (ppm)			
	Min	Max	Media	Desviación Estándar
Septiembre	0.169	0.21	0.198	0.022
Octubre	0.094	0.46	0.289	0.139
Noviembre	0.27	0.43	0.348	0.03
Diciembre	0.04	0.99	0.365	0.338
Enero	0.04	0.12	0.082	0.033
Febrero	0.04	0.12	0.08	0.027

En investigaciones recientes de Inventario de Emisiones en Cunduacán registran concentraciones de SO_2 en el rango de 0.0022 a 0.0029 ppm por mes (Mendoza, 2002). Los valores registrados en la Venta pueden deberse a la dispersión de contaminantes producidos por instalaciones petroleras cercanas a la zona de estudio.

Las principales fuentes del ión sulfato son industrias y transporte pesado de carga que utilizan diésel como combustible, también los relacionan con los contaminantes emitidos por las instalaciones petroleras (Procesadora de Gas y Baterías de Separación cercanas al lugar). Así también como incendios forestales y la circulación de los vientos. Estudios realizados en Cunduacán en el año 2009 se encontraron valores de sulfatos en el rango de 1.40 a 12.18 ppm (Domínguez, 2009); En Cunduacán investigaciones recientes de corrosión atmosférica del acero galvanizado reportan la influencia del SO_2 en la degradación de los materiales galvanizados y de zinc. El SO_2 es uno de los agentes más importantes en la corrosión del zinc debido a que determina los cambios del pH de la película

húmeda formada sobre la superficie del metal y de esta manera puede acelerar su corrosión atmosférica.

3.5. Nitratos (NO_3^-).

La Figura 22 muestra el comportamiento de los valores obtenidos del ión nitrato de las muestras analizadas durante los eventos de lluvia en la zona de estudio (La Venta) durante el periodo de septiembre 2011-febrero 2012; observando ligera dispersión de concentración de nitratos durante los eventos de lluvia del mes de febrero, obteniendo valores de 4.66 y 4.175 ppm registrados en los eventos del 2 y 9 de febrero del 2012.

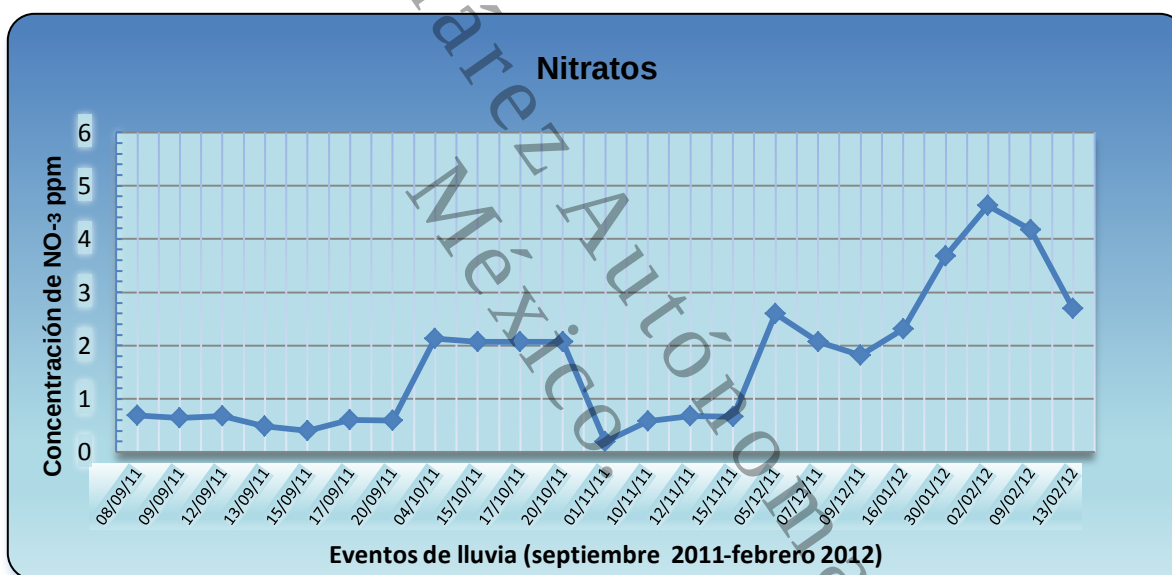


Figura 22: Comportamiento de Nitratos (septiembre 2011 a febrero 2012).

En la Figura 23 muestra los promedios mensuales de la concentración de nitratos durante el periodo de muestreo presentando el valor más alto del promedio mensual de nitratos obtenido en el mes de enero y el valor más bajo obtenido en el mes de noviembre del año 2011.

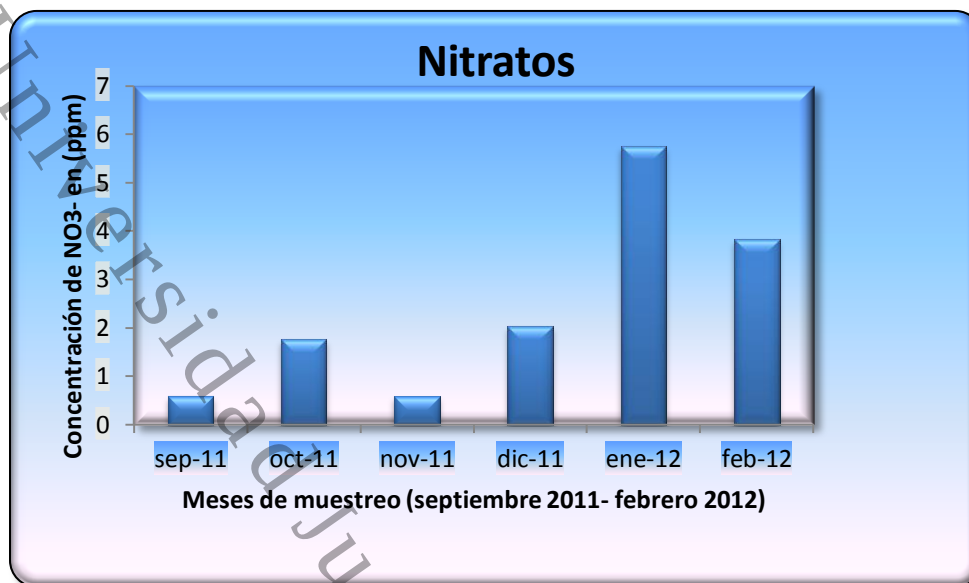


Figura 23: Nitratos promedios mensuales.

Como podemos observar en la Tabla 12, muestra los resultados obtenidos del análisis correspondiente del ion nitrato del agua de lluvia en La Venta; Se obtuvieron valores de concentraciones de ión nitrato como máximos y mínimos que oscilan entre 0.2 ppm como el valor mínimo registrado en el mes de septiembre y 6.525 ppm como el valor máximo registrado en el mes de enero. Observando ligera dispersión de los valores del ión nitrato donde las concentraciones más altas se registraron en los meses de enero y febrero (6.52 ppm y 5.07 ppm) respectivamente y las mínimas concentraciones se registraron en el mes de septiembre (0.2 ppm).

Tabla 12: Concentración de Nitratos (promedio mensual en ppm).

Meses de muestreo del agua de lluvia (2011-2012)	Nitrato (NO ₃ ⁻) en (ppm)			
	Min	Max	Media	Desviación Estándar
Septiembre	0.2	0.8	0.59	0.18
Octubre	0.375	2.12	1.72	0.70
Noviembre	0.2	0.80	0.58	0.20
Diciembre	1.8	2.6	2.039	0.38
Enero	1.87	6.52	5.75	7.183
Febrero	1.95	5.07	4.11	1.38

Otras investigaciones de análisis de agua de lluvia realizados en Cunduacán registraron valores del ión nitrato en el rango de 0.05-1.22 ppm durante el periodo de estudio (2001 a 2002), así mismo en el 2008 se encontraron valores mínimos de concentración de nitratos en 0.04 ppm y un valor máximo de 2.21 ppm (Domínguez, 2009). Podemos observar que los resultados obtenidos en la zona de estudio en La Venta, Tabasco, oscilan en el rango de 0.2 a 6.52, presentados en la tabla 14 (ver anexo VII) siendo estos resultados ligeramente similares a los resultados de estudios reportados anteriormente sin embargo se observa una ligera dispersión de los valores del ión nitrato donde las concentraciones más altas se registraron durante los meses de enero y febrero del 2012.

Los resultados obtenidos en La Venta probablemente sean debido a un aumento de contaminantes en la atmósfera generalmente de fuentes antropogénicas, incendios forestales y la circulación de los vientos. Así también este tipo de contaminante puede deberse a que en el sitio de estudio se encuentran cerca instalaciones petroleras como baterías de separación y una procesadora de gas como es sabido son las que mayor contaminación liberan al ambiente, así mismo podemos considerar que dentro de la zona urbana se encuentran la mayores fuentes de NO_x emisiones vehiculares de motor de combustión interna, este aumento vehicular lo podemos observar en la Figura 24 que muestra el aumento de vehículos anuales en la localidad o también por el uso de fertilizantes ricos en nitrógenos generando una carga en vías acuáticas a medida el nitrato de los fertilizantes va hacia corrientes y lagunas.

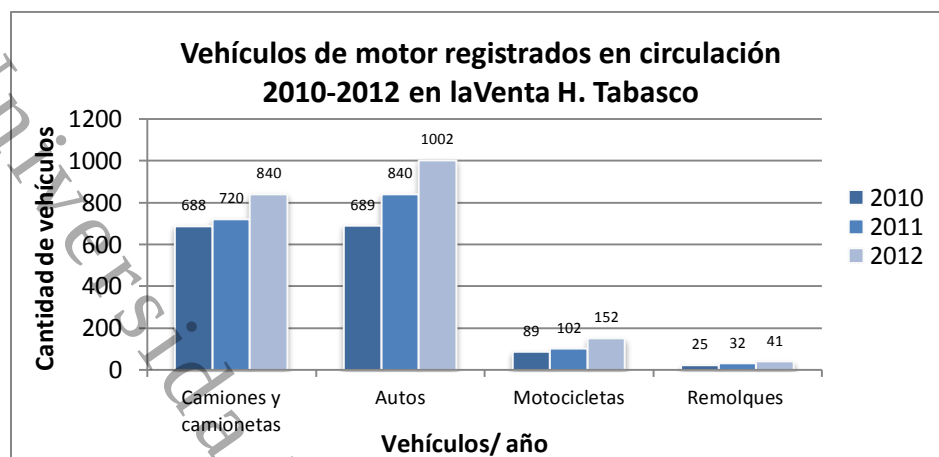


Figura 24: Parque vehicular de La Venta, Huimanguillo, Tabasco.

3.6. Bicarbonatos (HCO_3^-) y Carbonatos (CO_3^{2-}).

Los resultados de concentración del ión bicarbonato obtenidos durante los eventos del agua de lluvia colectada en La Venta se muestran en la figura 25 durante el periodo de septiembre 2011- febrero 2012.

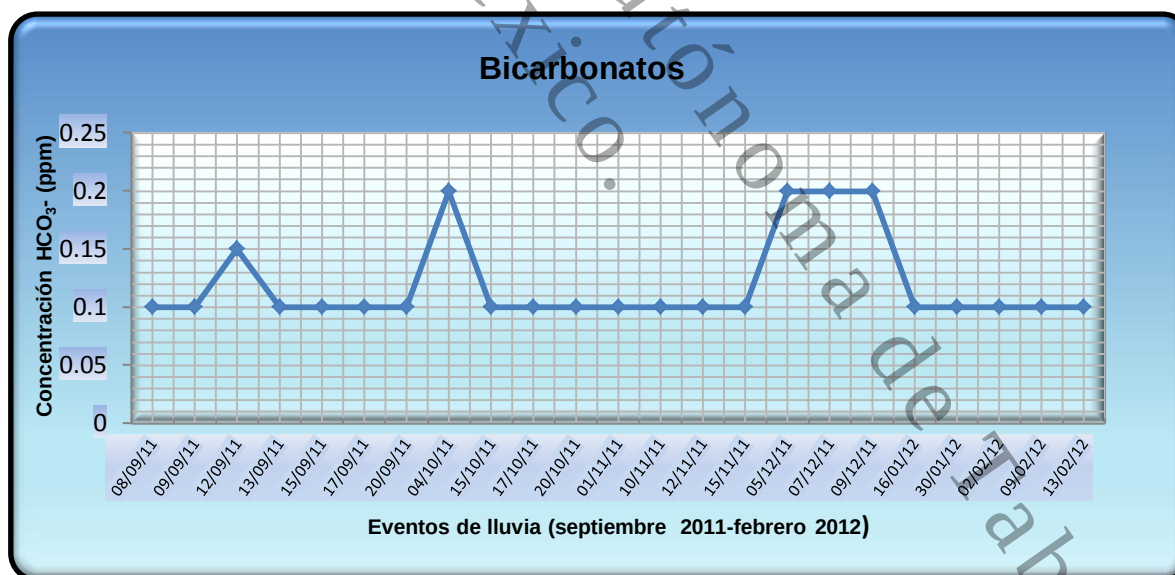


Figura 25: Comportamiento de Bicarbonatos (septiembre 2011 a febrero 2012).

La Figura 26 muestra los valores promedio mensual de concentración de bicarbonatos en el que se observan concentraciones con valores promedio

similares durante el periodo de muestreo observando un valor máximo en el mes de diciembre.

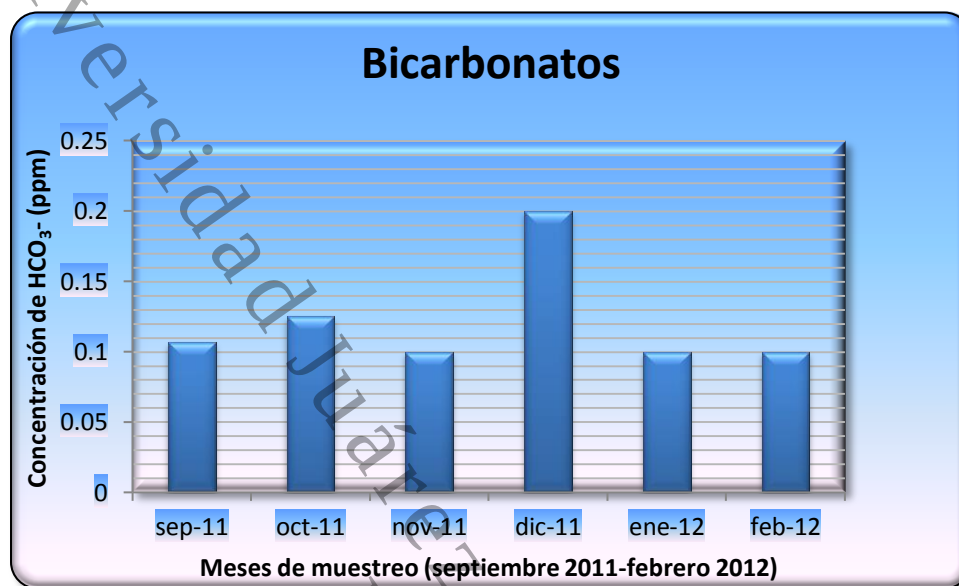


Figura 26: Bicarbonatos promedios mensuales.

Los resultados de bicarbonatos obtenidos se encuentran en el rango de 0.1 a 0.2 ± 0.10 ppm, mismos que se muestran en la tabla 14 (ver anexo VII) como podemos observar estas concentraciones permanecen constantes a lo largo del periodo de análisis de lluvia, las concentraciones de este ión son debido a las aportaciones de CO_2 , que se produce durante la fotosíntesis de las plantas ya que el ambiente de estudio se encuentra en una zona con una vegetación considerable, también influyen los diferentes procesos de combustión de las instalaciones petroleras, otro aporte importante es por los constantes nortes que aportan iones marinos como los bicarbonatos y los cloruros, los cuales impactan al sitio de estudio por ubicarse a 15 km de del Golfo de México.

Tabla 13: Concentración de Bicarbonatos (promedio mensual en ppm).

Meses de muestreo del agua de lluvia (2011-2012)	Bicarbonatos (HCO_3^-) en (ppm)			
	Min	Max	Media	Desviación Estándar
Septiembre	0.1	0.2	0.11	0.026
Octubre	0.1	0.2	0.114	0.037
Noviembre	0.1	0.1	0.10	1.47 E -17
Diciembre	0.2	0.2	0.20	2.99 E -17
Enero	0.1	0.1	0.10	1.47 E -17
Febrero	0.1	0.1	0.10	1.32 E-17

En la Tabla 13 se registraron los datos estadísticos así como los promedios mensuales del ión bicarbonato presente en el agua de lluvia colectada durante el periodo de septiembre 2011- febrero 2012, en esta tabla se puede observar que el valor máximo que fue de 0.20 ppm, y el valor mínimo de 0.10 ppm. Cabe mencionar que a la misma muestra también se le determinó el análisis correspondiente del ión carbonato, con el método APHA 2320-B-1995, para la determinación de alcalinidad del agua, no se obtuvieron resultados favorables, debido a que la técnica dice que si la muestra al analizarla no presenta un color rosa, entonces se procede a reportar carbonatos igual a cero, por lo consiguiente en la Tabla 19, no se registran dichos datos del análisis de carbonatos (Método 2320-B-1995).

Estos resultados indican que las concentraciones de bicarbonatos son más elevadas en el mes de diciembre del 2011, registrando un valor máximo de 0.20 ppm. Probablemente esto se debe a que en este mes se presentan constantes nortes en esta región lo cual en esta época se aportan iones marinos como los bicarbonatos y los cloruros. Estos iones se determinaron por que los podemos encontrar en el agua en forma de iones disueltos negativamente, y así poder contribuir en el aumento de la conductividad eléctrica en el agua.

La Tabla 14 indica los resultados de los valores máximos y mínimos de los parámetros fisicoquímicos como son el pH, conductividad, cloruros, sulfatos y nitratos analizados en cada evento de lluvia durante los seis meses en el periodo de muestreo (agosto 2011-febrero 2012).

Tabla 14: Datos del promedio semestral de los análisis fisicoquímicos del agua de lluvia de La Venta, H., Tabasco (agosto 2011-febrero 2012).

Análisis fisicoquímicos determinados al agua de lluvia	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
Potencial de hidrógeno (pH)	4.2	6.77	5.31	0.75
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	6.6	76	18.68	24.77
Cloruros (ppm)	3.54	35.45	14.45	7.77
Nitratos (ppm)	0.20	6.52	1.28	1.49
Sulfatos (ppm)	0.04	0.99	0.18	0.16
Bicarbonatos (ppm)	0.10	0.20	0.11	0.03

CONCLUSIONES

Los resultados presentados del estudio fisicoquímico realizado al agua de lluvia en La Venta, nos posibilita hacer las siguientes conclusiones:

1. De las 51 muestras de lluvia analizadas durante el periodo de muestreo, con tres réplicas para cada evento de lluvia; 20 muestras registran pH en el rango de 4.0 a 5.0 (39.21%), 19 muestras registraron pH en el rango de 5.0 a 6.0 (37.25%) y 12 muestras registran pH en el rango de 6.0 a 7.0 (23.52%). Sin embargo de los 23 eventos de lluvia analizados en La Venta solo 9 de ellos presentaron un valor superior a un pH de 5.6 y los 13 eventos de lluvia restantes registraron valores ácidos. En estudios similares en Cunduacán durante el año 2002, registraron valores de pH en el rango de 3.49 a 6.37. Posteriormente durante el año 2008 en otro estudio se encontraron valores de pH en el rango de 4.0–6.54 como se puede observar los valores de pH obtenidos en este estudio no son ajenos a los valores de pH registrados en investigaciones anteriores. Históricamente se habían realizado estudios de la precipitación ácida en el estado de Tabasco, obteniendo valores de pH similares pero hay que tomar en cuenta que no se habían realizado muestreos en La Venta, Huimanguillo, Tabasco, los cuales requieren de más estudios al respecto.

2. En cuanto a la conductividad eléctrica los datos obtenidos en La Venta, se obtuvieron valores en el rango de $6.6\text{-}76 \pm 9.78 \mu\text{S/cm}$, considerando estos valores se puede asociar con las concentraciones más elevadas de los contaminantes presentes en el ambiente. Por lo consiguiente la conductividad eléctrica de la lluvia nos indica de forma indirecta la presencia de sales disueltas, al tener valores elevados de conductividad en el agua de lluvia se puede decir que existen sales que incrementan la conductividad.

3. Considerando que el sitio de estudio se encuentra cercano a las Costas del Golfo de México (15 km), se encontraron valores de cloruros en el rango de $3.54\text{--}35.45 \pm 5.05$ ppm, debido a la cercanía a la costa de la zona de estudio, aportan aerosol marino a la química de precipitación, como son los iones Na^+ , Cl^- y Mg^{2+} , provocando con ella la corrosión en estructuras metálicas y techos de lámina.

4. Los resultados de concentración del ión nitrato se encuentran en el rango entre $0.2\text{--}6.525 \pm 1.67$ ppm, la presencia de este contaminante se puede deber a que el sitio de estudio implique su origen a las emisiones contaminantes liberadas al medio ambiente por vehículos de motor de combustión interna debido a que a medida que va en incremento la demanda poblacional en el área de estudio, podría aumentar considerablemente la cantidad de NO_x emitidos por estas fuentes cabe mencionar que también se encuentran alrededor pozos petroleros e instalaciones petroleras las cuales son las que mayor contaminación liberan al ambiente o también por el uso excesivo de fertilizantes ricos en nitrógenos generando una carga en vías acuáticas a medida el nitrato de los fertilizantes va hacia corrientes y lagunas .

5. Los sulfatos registraron en el rango de $0.04 - 0.99 (\pm 1.67)$ ppm. Los sulfatos se relacionan con los contaminantes emitidos por las instalaciones petroleras (Batería Cinco Presidentes y pozos petroleros). El SO_2 es uno de los agentes más importante en la corrosión del zinc, ya que determina los cambios del pH de la película húmeda formada sobre la superficie del metal y de esta manera puede acelerar su corrosión atmosférica.

6.- Los bicarbonatos se encuentran en el rango de 0.1 a 0.2 ± 0.10 ppm, las concentraciones de este ión son debido a las aportaciones de CO_2 , que se produce durante la fotosíntesis de las plantas ya que el ambiente de estudio se encuentra en una zona arbolada, también influyen los diferentes procesos de combustión de las instalaciones petroleras (Cinco Presidentes, Procesadora de Gas La Venta y pozos petroleros), otro aporte importante es por los constantes

nortes que aportan iones marinos como los bicarbonatos y los cloruros y que impactan al sitio de estudio por ubicarse a 15 km. del Golfo de México.

El alto porcentaje de la humedad relativa es de 83% y la temperatura media al año que es mayor 26. 2°C es muy probable que ambos factores meteorológicos estén favoreciendo la solubilización de gases y partículas dentro de las gotas de lluvia y por lo tanto dan origen a la acidez en el agua de lluvia de la zona de estudio, en la localidad de La Venta.

La información generada en esta investigación será la base para estudios posteriores sobre el impacto de la contaminación atmosférica en la zona de Huimanguillo, Tabasco.

LITERATURAS CITADAS

Aguilar, S. Bravo, A. Magaña, R. Saavedra & Torres. J. (1984). Acid Precipitation in the Mexico Basin. *Climatología urbana y sus aplicaciones, con especial referencia a las zonas tropicales*. Organización Meteorológica Mundial, México, DF.

Ahrens, D. (1998). *Essentials Of Meteorology: an invitation to the atmosphere*. 2nd Edition. Wadsworth Publishing Company. United States. ISBN 0-534-53766-9

Aleman, V. & López, A. (2004). *Dispersión de Contaminantes en la Atmósfera*. Alfa Omega, Valencia. pp. 58-60.

Aouragh, F. (2002). *Enciclopedia Gran Portátil*, Primera Edición, Larousse. pp. 528

Arias, J. Asociación Ecológica Santo Tomás. coordinacion@aestomas.org. Villahermosa, Tabasco.

Asociación Ecológica Santo Tomás. (2011). *Emisiones petroleras tóxicas, con graves consecuencias para la salud humana y el ambiente: Fronteras Comunes*. Boletín de prensa: Autor. Consultado el 6 de marzo de 2012. Disponible en <http://www.ine.gob.mx/calibre-indicadores/523-calibre-cont-criterio>.

Baez, P. (1987). *La Calidad del Aire Centro de Ecodesarrollo* Vol- II. pp.32

Baez, B. and H. Padilla. (1997). *Chemical composition at two sampling sites in México: A 7-years study*. Atmospheric Environment. 31: (6) pp. 915-925.

Bailey, W. Driscoll, T. and W. Hornbeck. (1995). *Acid-base chemistry and aluminum transport in an acidic watershed and pond in New Hampshire*. Biogeochemistry 28: pp. 69-91.

Beltrán, I. & Vela. G. (2005). *Suelos contaminados con hidrocarburos y su efecto en la formación de agregados del suelo en la Venta, Tabasco*. pp. 10

Beltrán, E. (1993). *Los Impactos del petróleo en Tabasco: Realidad y Perspectivas*. Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa. pp.16

Bolaños, F. (1990). *El impacto Biológico Problema Ambiental Contemporáneo*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Bolin, B. Doos, B. Jager, J. & R. Warrick. (1989). (eds.), *The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems*. Escope, núm. 29. John Wiley and Sons. Chichester.

Bravo. (2003) Comisión para la Cooperación Ambiental, *Boletín Mosaico de América del Norte*. pp. 4

Bravo, H.A.; Soto, R.; Sosa, R.; Sánchez, P.A.; Alarcón, J.; Kahl, J. & B. Ruíz. (2006). Effect of acid rain on building material of the El Tajín archaeological zone in Veracruz, México. *Environmental Pollution* 144: pp. 655-660.

Bravo, H. Sosa, R. Sánchez, P. Soto, R. & L. Alarcón (2005). *Precipitación ácida en la costa del Golfo de México*. pp. 535-552. Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Universidad Autónoma de Campeche, UNAM, Instituto Nacional de Ecología. pp.696.

Cantú, P. (1993). La contaminación ambiental, Editorial Diana. Junio

Clark, K. Haines, B. Jordan, C. & Clark. H. (1983). *Acid Rain in an Amazon rainforest*. Tellus 35 (B): pp. 77-80.

Climent, D. Aznar, P. & Domingo, R. (1992). Conocer la química del medio ambiente, la atmósfera. pp. 93,687.

Crocker, D. Tschirhart, J. Adams, R. and B. Forster. *Methods Development for Assessing Acid Precipitation control Benefits*. A Draft report to the U.S. Environmental Protection Agency.

Del Ángel, E. Veleza, L. & Acosta. A. (2009). *Agresividad atmosférica basada en el tiempo de humectación del clima tropical húmedo del estado de Tabasco*. Revista Universidad y Ciencia, Vol. 25, No.2, pp. 111-120.

Del Ángel, E. (2007). *Estudio de la disolución del zinc "runoff" en el clima tropical húmedo del Golfo de México*. Programa de Corrosión del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. pp 120.

De la Cruz, H. (1989). *Impacto Ambiental de las Grandes Instalaciones de Combustión*. Miraguano Madrid. pp . 197-218

Doménech, X. (1991). *La contaminación atmosférica*. (Biblioteca Cultural Barcanova) . Barcelona España. ISBN 84-7533-561-6. pp. 172

Domínguez, I. & E. Del Ángel. (2009). *Caracterización Fisicoquímica de la lluvia en una zona Tropical Humedad de Cunduacán Tabasco*. UJAT. pp 88.

Fernández, R. (1994). *La Química en la Sociedad*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. pp 65-126

Ferrís, J. (2001). *Enfermedades asociadas a la polución atmosférica por combustibles fósiles. Aspectos pediátricos*. Servicio de Anatomía Patológica. Hospital de Sagunt. Universidad de Valencia. . (en línea) Recuperado en Marzo, 2011, 57 (3). pp 213-225. <http://www.pehsu.org/az/pdf/fosiles.pdf>.

Fleischer, S. Anersson, G. Brodin, Y. Dickson, W. Hermann, J. & J. Muniz, (1993). *Acid water research in Sweden – knowledge for tomorrow*. Ambio 22: pp. 258-263.

Flossmann, L. & R. Pruppacher, (1988). *A theoretical study of the wet removal of atmospheric pollutants*. Part II: The uptake, redistribution, and deposition of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ particles by convective cloud using a two dimensional cloud dynamical model. Journal Atmospheric Science. 45: pp.1857-1871.

Galloway, N. Tokos, J. Knap, A. & C. Keene. (1998). Local influences on the composition of precipitation on Bermudas. pp. 178-188.

García, G. Mario, E. Ramírez, S. Hermes, U. Meulenert. P. Ángel, R. García, C. Faustino, O. Alcalá, G. Arellano, J. Espinosa, L. & O. De la Torre (2006). *Influencia de los Contaminantes SO₂ y NO₂ en la formación de lluvia acida en la zona metropolitana de Guadalajara Jalisco México*. Genosis, Vol. 4.

García, R. (2006). *Measurement of Chemical Elements in Rain From Ranchi Viejo, a Rural Wooded Area in State of México, México*. Atmospheric Environment 40: pp. 6088-6100.

García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

García, R. (2007). *Determinación de metales pesados en la precipitación pluvial de una zona urbana (Cd. De México) y de una zona rural (Rancho Viejo, Edo. de México)*. Posgrado en Ciencias de la Tierra. UNAM. pp 108.

Garritz, A. & G. Chamizo (2001). *Tú y la Química*. Pearson. Educación. México. (ISBN 968-444-414-1). pp 808.

Glynn, H. Gary, J. & W. Heinke. (1999). *Ingeniería Ambiental*, Ed. Prentice Hall, México. pp 778.

Gordillo, D. (1995). *Ecología y Contaminación Ambiental*, Ed. Interamericana. México. pp. 120.

Granados, D. López, G. & M. Hernández (2010). *La lluvia ácida y los ecosistemas forestales*. *Revista Chapingo Serie ciencias forestales y del ambiente*, 16 (10): pp. 187-207 Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo México.

Guajardo, R. y J. Olvera. (2002). *Índices de Intensidad de contaminación atmosférica*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 18 (4): pp.179-189

Guerra, L. M. (1995). *El aire nuestro de cada día*, Ed. Diana, México. pp. 146

Harte, J. Holdren, Ch. & S. Schneider (1991). *Guía de las Sustancias Contaminantes*. El libro de los tóxicos de la A a la Z. Ed. Grijalbo.

Herrera, M. & Rodríguez, S. (2009). Determinación de la concentración de aniones en muestras de precipitación total colectadas en San José, Costa Rica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25 (2): 65-72.

Hendrey, R. & Vertucci, A. (1980). *Benthic plant communities in acid Lake Colden, New York; Sphagnum and the algal mat; in Ecological Imnpac of Acid Precipitation*, D. Diablos & A. Tollan, SNSF, Sandefjord, Norway. pp. 266-267.

Henner A. (2007). Ministerio de Educación Y deporte C.B. Antonio J. Pacheco. Vieras León #16 República Bolivariana de Venezuela, Ed. Trujillo.

Hutchinson, T. & C. Gordon. (1994). *Studies of fog events st two cloud forests near Caracas, Venezuela*. Chemistry of fog. Atmospheric Environment. pp. 28, 323, 337.

INEGI. (2005). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. "Censo de Población y vivienda, 2005".

Jacinto N. (2001). *"Evaluación de acidez en la precipitación pluvial en tres municipios del Estado de Tabasco"*. Tesis de Licenciatura. División Académica de Ciencias Básicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. pp. 66

Jacobson M. (1990). A Framework for Research on the Human Dimensions of Global Environment Change. Internacional Social Science Council. Human Dimensions of Global Environmental Change Programme. París.

Kiely G. Albertson J. Parlange M. and R. Katz (1999). *Conditioning Stochastic Properties of Precipitation on Indices of Atmospheric Circulation Meteorological Applications* 5: pp.75–87.

Kenneth, F. (1998). *Perturbaciones ambientales de Origen Humano*. Canadá. Cap 5 pp. 122-141.

Kennedy R. (1992). *Tierra Ácida y Lluvia Ácida*, Segunda edición. Prensa de Estudios de Investigación.

Kotz, C. Treichel, M. & J. Townsend. (2008). *Química y Reactividad Química*. Thomson. México. D. F. pp 234.

Langmann, B. Graf, H. & J. Feichter. (1997). *Volcanic sulfur emissions: estimates of source strength and its contribution to the global sulfate distribution*. Journal of Geophysical Research. 102(D9): pp. 10727- 10738.

Lemay B. (1998). *Química de la Ciencia*, 7ª Edición, Editorial Prentice Hall. pp. 765

Leyva, A. (1993). *Evaluación de la contaminación atmosférica por metales pesados en la ciudad de México*, Instituto Politécnico Nacional, México, DF.

López, H. Maldonado M. & M. Sánchez. (1997). *Diagnóstico y evaluación del impacto ambiental en comunidades bióticas de los sistemas lagunares costeros Mecoacán y Carmen-Pajona-Machona*, UJAT, Tabasco. México. pp. 77

Ludevid, M. (1997). *El cambio Global en el Medio Ambiente*. introducción a las seves causas humanas. (Biblioteca Universitaria); Barcelona, España; ISBN 84-8256-047-6. pp.350

Mclaughlin, B. (1985). *Effects of air pollution on forests: A critical review*. J. Air Pollut. Control Assoc. 35: pp. 512-534.

Méndez, A. Palenzuela, A. & E. Morales. (2009). *Salud y medio ambiente*: Rev. Med. Electrón., Matanzas. (en línea) Recuperado en junio de 2012, 31 (5). <http://www.revmatanzas.sld.cu/revista%20medica/ano%202009/vol5%202009/tema13.htm>.

Mendoza, V. (2002). *Inventarios de emisiones atmosféricas por la actividad de las instalaciones petroleras en la zona central del estado de Tabasco*. pp. 75-77.

Método normalizados para el análisis de agua, 2320-B-1995. (1995). *Método para la determinación de la alcalinidad en el agua*.

Minoura, H. & Y. Iwasaka. (1996). *Rapad change in nitrate and sulfate concentrations observed in early stage of precipitation an dtheir deposition processes*. Journal of Atmospheric Chemistry 24: pp. 39-55.

Miranda, M. Rodríguez, S. & E. Garcia. (2009). *Parece que va a llover... Lluvia ácida*. Revista Conversus, Instituto Politécnico Nacional, Núm. 76: pp 32 – 37.

Mohnen, A. (1988). *The Challenge of Acid Rain*, Scientific American 259: pp 30-38.

Moral, C. & L. López. (2002). *Problemas Ambientales en el Sureste Mexicano*, Revista Nacional de Ecología Vol. 2: pp. 59-60.

Myrick, A. (1999). "Control de la Contaminación del agua y del aire", (3ra. Ed.). Limusa /México pp. 130-131.

Navarrete, M. (2005). *Contaminación por metales pesados en tres unidades de suelo, ocasionada por derrames de petróleo en el distrito de agua dulce, Tabasco*. Facultad de Ciencias. UNAM. México pp. 64.

Norma mexicana NMX-AA-73-(2001). *Análisis de agua-Determinación de Cloruros totales en agua naturales, residuales y residuales tratadas*. Método de prueba.

Métodos normalizados para el análisis de agua, 4500- $\text{NH}_4\text{-D}$ -(2000). *Método de la sal de fenol*. Capítulo 4. pp. 137,138.

Norma Mexicana NMX-AA-079-1986. (1986) Análisis de agua-Protección al Ambiente-Contaminación de Agua-Determinación de Nitrógeno de Nitrato-Método del Sulfato de Brucina.

Norma Mexicana NMX-AA-074-1986. (1986). Análisis de agua-Protección al Ambiente-contaminación de Agua-Determinación de Sulfatos, Método Turbidimétrico.

Ortiz, R. (2001). *Migración de hidrocarburos en suelos orgánicos a sitios de explotación petrolera en el Distrito de Agua Dulce, Tabasco*. Maestría en Ciencias (Edafología). Facultad de Ciencias, UNAM. México pp.111

Parungo, O. Bravo, A. Keene, W. & N. Galloway (1998). *Ion Concentration and pH of rainwater, In Air chemistry studies over the quit of México*. Environmental Sciencies group. Boulter, Colorado. pp. 90-106.

Pérez, H. (2008) *Evaluación de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la acidez de la precipitación pluvial, en el municipio de Cunduacán, Tabasco*.

Pimentel, G. & J. Coonrod. (1991). *Oportunidades en la Química Presente y futuro*. Ed. Mc.Graw-Hill/México, S. A. de C. V. volumen 39 número 120. pp. 117-119

Química La guía (2000). Química en la guía 2000. Consultado en marzo 2011. Disponible. <<http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/ciclo-del-nitrogeno>>Ciclo del nitrógeno.

Raiswel, W. Bribblecombe, P. Dent, L. & Liss, P. (1983). *Química Ambiental*. Ediciones Omega, S. A., Barcelona. pp. 220.

RAMA. (2009). Red Automática de Monitoreo Atmosférico. *Informe anual de Emisiones Contaminantes en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*,

RAMA. (1999). Red Automática de Monitoreo Atmosférico. *Programa de precipitación ácida en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, Informe Anual de Dirección General de la Prevención y Control de la Contaminación

Ramos, S. Bautista, R. Valdez, A. Magaña, E. & Bolaina. M. (2003). "Análisis del comportamiento estacional de partículas PM₁₀ en tres ciudades del estado de Tabasco, México".

Rivera, M. Ferrera, R. Volke, V, Fernández, L. & R. Rodríguez, (2002). *Poblaciones microbianas en perfiles de suelos afectados por hidrocarburos del petróleo en el Estado de Tabasco*, México. *Agrociencia* 36(2): pp.149-160.

Raymond, Ch. & W. College. (1992). Química, (4^a.ed.). Mc Graw-Hill: México.

Roberts, E. (1998). *Manual De Control de la Calidad del Aire*. California: Mc Graw Hill. Cap. 19

Romero, M. Olite, D. & Álvarez T. (2006). "La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud". *Rev Cubana Hig Epidemiol.* (en línea). Recuperado en octubre de 2012, 44 (2). pp. 1561-3003. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-3003200600020000&lng=es&nrm=iso>.ISSN 1561-3003

Sánchez, B. (2001). *Determinación del SO₂ en el aire y su influencia en el suelo, Cunduacán Tabasco México*. Universidad Juárez autónoma de Tabasco Villahermosa, México.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2000). Norma Mexicana NMX-AA-008. *Análisis de agua-Determinación del pH*.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2000). Norma Mexicana NMX-AA-093. *Análisis de agua-Determinación de la Conductividad*.

SEDESPA. (2001). Secretaría de Desarrollo Social y Protección al Ambiente *Primer informe sobre la calidad del aire en la ciudad de Villahermosa y Cárdenas Tabasco*. Programa de administración de la calidad del aire, Gobierno del Estado de Tabasco.

SMA. (1998). Folleto de lluvia Ácida, Dirección General de Protección y Control de la Contaminación. Informe Anual del Programa de Precipitaciones Ácidas en la ZMCM. www.sma.df.gob.mx

SMA. (1999). Secretaría del Medio Ambiente e Instituto Nacional de Salud Pública. 1996. Respuesta a preguntas sobre contaminación y salud. Fascículo impreso por Grupo Arma S.A. de C.V. México.

SMA. (2004). Secretaria del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal. Dirección General de Gestión Ambiental del aire. *Inventario de Contaminantes Tóxicos del aire en la ZMVM* (SMA-GDF, 2004).

SFT (2013).Secretaria de Planeación y Finanzas Receptor de Rentas de V. La Venta Huimanguillo, Tabasco. 2013.

Schneider, T.(1986). *Acidification and its Policy Implications*. Elsevier. Amsterdam.

Strauss, W. y S. Mainwaring (2008). *Contaminación del Aire*; Ed. Trillas pp. 80-81

Stocker & Vie le, S. (1982). *Procesos de acidificación en la atmósfera*. Evironment. Canadá.

Torres, A. & Galván, L.(1999). Lluvia Ácida. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, Red Automática de Monitoreo Atmosférico r.a.ma. Secretaría del Medio Ambiente México DF. pp. 39-42

Valverde, T. Meave, J. Carabias, L. & Z. Cano. (2005). Ecología y Medio ambiente Ed. Pearson México: pp. 126-130.

Velez, L. Del Angel, E., & Acosta, M. (2007). Zinc corrosion runoff process induced by humid tropical climate. *Materials and Corrosion* 58 (5). pp. 348-352

Villalobos, B. Sandoval, E. & J. A. Viramontes, (2006). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5 (1). pp. 5-9.

Wark, K., Warner C., Davis, W. (1998) *Air Pollution: Its origins and control*. 3rd edition. Addison Wesley Longman. United States, ISBN 0-67399416-3

Xicoténcatl (2002). *Evaluación de SO₂, NO_x y su relación con la lluvia ácida en dos municipios del Estado de Tabasco*. Universidad pp. 96.

ANEXOS

ANEXO I. SÍNTESIS DE LA NORMA NMX-AA-008-SCFI-2000

DETERMINACIÓN DEL pH

Objetivo y campo de aplicación. Esta norma mexicana establece el método de prueba para determinar pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Recolección, preservación y almacenamiento de muestras. En el punto de muestreo se registra la temperatura del agua, posteriormente se traslada la muestra al laboratorio. Para determinaciones de pH, se toma un volumen mínimo de 100 ml de muestra en un recipiente de vidrio borosilicato limpio recubierto externamente con pintura negra para reducir las reacciones de fotosíntesis. El recipiente debe llenarse completamente con la muestra y taparse de forma que no quede aire en contacto con la muestra. No debe añadirse aditivo alguno. El transporte de la muestra al laboratorio debe efectuarse de inmediato en condiciones de refrigeración a 4°C. La determinación del pH en el laboratorio debe efectuarse de inmediato después de la recepción de la muestra, a la misma temperatura que la del punto de muestreo. El tiempo transcurrido entre el muestreo y la determinación no debe exceder de 2 horas y señalarse en el informe final de laboratorio así como la temperatura a la que se efectuó la determinación.

Equipo

Potenciómetro para determinación del pH en el laboratorio con escala de lectura analógica o digital, con error y resolución menor o igual a 0,02 unidades de pH, con compensador de temperatura manual o automático y corrección de pendiente.

También debe permitir lecturas de diferencia de potencial con resolución menor o igual a 1 mv. Para determinaciones en el campo, se requiere de un equipo portátil que posea las mismas características que el equipo de laboratorio.

Calibración

Calibración del dispositivo de determinación del pH

Se seleccionan tres soluciones buffer con pH de 4, 7 y 10 y que estén a la misma temperatura ($\pm 2^\circ\text{C}$) que esta última. La diferencia de pH entre las soluciones buffer seleccionadas debe situarse aproximadamente entre 2 y 3 unidades. De cada solución se transfiere una porción apropiada a un recipiente limpio.

Procedimiento para la determinación de pH:

1. Lo primero que se realiza es calibrar el pH-metro con las soluciones buffer con pH de 4, 7 y 10, posteriormente cuando ya fue calibrado el equipo se procede a realizar el análisis correspondiente de cada una de las muestras.

2. Para el análisis de las muestras del agua de lluvia recolectada, se tomó una pequeña muestra de 5 ml de agua de lluvia en un vaso de precipitado de 100 ml, se introduce el pH-metro en el vaso, y automáticamente el equipo da el resultado.

ANEXO II. SÍNTESIS LA NORMA NMX-AA-093-SCFI-2000

DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD.

Objetivo y campo de aplicación

Esta norma mexicana establece el método de prueba para la determinación de la conductividad electrolítica en agua y es aplicable para agua potable, natural, tratada, residual, salina y residual tratada.

Principio

Este método se basa en la propiedad que adquiere el agua de conducir la corriente eléctrica cuando tiene iones disueltos. La conducción de la corriente eléctrica en agua, puede explicarse por medio de la disociación electrolítica. Cuando se disuelve en agua un ácido, una base o una sal, una porción se disocia en iones positivos y otra en negativos

Equipo

El equipo que se utilizó para la medición de la conductividad, fue un Medidor portátil de pH, Conductividad y Temperatura Modelo PC 18, con electrodo de pHP100C-BNC, con celda de inmersión.

Calibración

El potenciómetro fue calibrado con tres soluciones buffer con pH de 4, 7, 10, de cada solución se tomó una porción apropiada, y dicha porción fue transferida a un recipiente limpio para poder calibrar el potenciómetro, se enciende el potenciómetro y se pone en el modo cal para poderlo calibrar el equipo solo nos va a pedir la solución buffer con la que primero se calibra y así sucesivamente.

Procedimiento para la determinación de Conductividad y sólidos totales

1. Calibrar el potenciómetro, se calibra con tres soluciones buffer, dichas soluciones deben estar a una temperatura de ($\pm 2^{\circ}\text{C}$), preferentemente a la temperatura ambiente.
2. Se continua con el análisis de las muestras del agua de lluvia recolectada, se toman 5 ml de muestra del agua de lluvia en un vaso de precipitado de 100 ml, para poder introducir el potenciómetro y poder leer la lectura del valor de conductividad.
3. Después de haber determinado la conductividad, proseguimos a analizar los sólidos totales a la misma muestra de agua de lluvia a la cual ya se le determino la conductividad,

al potenciómetro se le presiona el botón menú para poder seleccionar el modo de sólidos totales para poder determinar la lectura de sólidos totales contenidas en la muestra del agua de lluvia.

ANEXO III. SÍNTESIS DE LA NORMA NMX-AA-073-SCFI-2001, DETERMINACIÓN DE CLORUROS POR EL MÉTODO ARGENTOMÉTRICO

Objetivo y campo de aplicación

Esta norma mexicana establece el método de análisis para la determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Principio del método

La determinación de cloruros por este método se basa en una valoración con nitrato de plata utilizando como indicador crómato de potasio. La plata reacciona con los cloruros para formar un precipitado de cloruro de plata de color blanco.

En las inmediaciones del punto de equivalencia al agotarse el ión cloruro, empieza la precipitación del crómato. La formación de crómato de plata puede identificarse por el cambio de color de la disolución a anaranjado-rojizo así como en la forma del precipitado. En este momento se da por terminada la valoración.

Aparatos

En este método no se requieren aparatos especiales, sólo material común de laboratorio.

Material

- 2 Matraces volumétricos de 1000 ml.
- 3 Matraces volumétricos de 100ml.
- 1 Cápsula de porcelana.
- 1 Soporte con pinzas para bureta.
- 1 Bureta de 25 ml, certificado o en su caso debe estar calibrada.
- 1 Pipeta de 5 ml.
- 2 Matraces Erlenmeyer de 125 ml.
- 1 Gotero.
- 1 pH-metro, Marca Conductronic Medidor portátil de pH, Modelo PC 18.

Todo el material volumétrico utilizado en este método debe ser de clase A con certificado, o en su caso debe estar calibrado.

Reactivos y patrones

Todos los productos químicos usados en este método deben ser grado reactivo, a menos que se especifique otra cosa.

Agua: Debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características: resistividad, mega ohm-cm a 25°C, 0.2 min, conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C, 5.0 máx, pH, en el rango de 5.0 a 8.0.

Solución de (Na_2CO_3) 0.1 N

Disolver 0.53 g de Na_2CO_3 , en agua destilada y aforar a 100 ml.

Solución de ácido sulfúrico 0.1 N (H_2SO_4)

Diluir 0.27 ml de H_2SO_4 , en agua destilada y aforar a 1000 ml.

Solución de fenolftaleína al 0.25%

Disolver 0.25 g de fenolftaleína en 100 ml de etanol al 50%.

Solución de nitrato de plata 0.01 N (AgNO_3)

Disolver 1.689 g de AgNO_3 en agua destilada y aforar a 1000 ml.

Solución de cloruro de sodio 0.001 N (NaCl)

Disolver 0.5846 g de NaCl secado a 110 °C, durante 2 horas, en agua destilada y aforar a 1000ml.

Indicador de crómato de potasio al 5% (K_2CrO_4)

Disolver 5 g de K_2CrO_4 , en agua destilada y aforar a 100 ml.

Recolección, preservación y almacenamiento de muestras

1. Se deben tomar las muestras en envases limpios de polietileno o de vidrio.
2. Pueden utilizarse muestras compuestas o simples. Tomar un volumen de 500 ml.
3. Se debe preservar la muestra a 4°C hasta su análisis.
4. El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de una semana.

Procedimiento

Acondicionamiento de la muestra

1. Colocar 5 ml de la muestra de agua en un matraz Erlenmeyer de 125 ml. Ajustar el pH entre 7 y 8.3, agregando 2 gotas de la solución de Na_2CO_3 (0,1 N).
2. Agregar 2 gotas de fenolftaleína (0.25%), tiene que producirse un color rosa, luego se le añaden las gotas necesarias de la solución de H_2SO_4 (0.1 N) a la muestra, hasta que vire a incoloro.

3. A la muestra se le añaden 3 gotas del indicador de K_2CrO_4 al 5 %, y en seguida se produce un color amarillo.
4. Titular con la solución de nitrato de plata ($AgNO_3$, 0.01 N), Hasta que vire de amarillo a rojo ladrillo.

Cálculos

Calcular la concentración de iones Cloruro en la muestra original, en mg/l como sigue:

$$Cl^- \text{ mg/l} = [(A - B) \times N \times 35,450] / \text{ml. de muestra}$$

Donde:

A: son los ml, de la solución de nitrato de plata, gastados en la valoración de la muestra.

B: son los ml de la solución de nitrato de plata gastados en la valoración del blanco.

N: es la normalidad del nitrato de plata.

Reportar los resultados de Cl^- mg/l, con la precisión correspondiente.

ANEXO IV. SÍNTESIS DE LA NORMA NMX-AA-079-1986, PARA LA DETERMINACIÓN DE NITRATOS- POR EL MÉTODO DEL SULFATO DE BRUCINA.

Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Mexicana establece el método para la determinación de nitrógeno de nitrato en agua y es aplicable para agua potable, natural, residual y residual tratada.

Fundamento

Este método se basa en la reacción entre el ión nitrato y la brucina que produce color amarillo y pueden ser utilizado para una estimación colorimétrica del nitrato. La intensidad del color es medida a 410 nm, esta relación entre la brucina y el ión nitrato es afectada significativamente por la cantidad de calor generada durante la prueba.

Toma y conservación de la muestra

Las muestras del laboratorio deberán ser colectadas en recipientes de plástico y ser analizadas lo más pronto posible. El almacenamiento de las muestras entre 275 K y 278 K (2 y 5 °C) pueden preservar muchos tipos de muestra, pero deberá verificarse para confirmar este parámetro.

Equipo

- ❖ Espectrofotómetro DR 2700 es un espectrofotómetro del espectro visible, con un rango de longitud de onda de 400 a 900 nm, Marca HACH DR 2700 provisto de un trayecto de luz de 1 cm o mayor; ó fotómetro de filtro, que permita un trayecto de luz de de 1 cm o mayor,
- ❖ Baño de agua con sistema de calefacción suficiente para mantener por lo menos 368 K (95 °C) cuando las muestras frías sean introducidas.
- ❖ Baño de agua fría (Agua con hielo).

Material

- ✓ Pipeta de seguridad.
- ✓ Gradilla metálica.
- ✓ Tubos de reacción de vidrio de silicato de boro, aproximadamente de 2.5 x 15 cm con tapón de baquelita.

Reactivos

Solución de nitrato

Disolver 721.8 mg de nitrato de potasio anhidro (KNO_3) y diluir a 1000 cm^3 con agua destilada; 1 $\text{cm}^3 = 0.1 \text{ mg N-NO}_3$.

Solución patrón de nitrato

Diluir 10 cm^3 de la solución madre de nitrato y aforar a 1000 cm^3 con agua destilada; 1 $\text{cm}^3 = 1 \text{ mg N-NO}_3$ preparar antes de efectuar el análisis).

Solución de arsenito de sodio

Disolver 5.0 g de arsenito de sodio (NaAsO_2) y diluir a 1000 cm^3 con agua destilada.

NOTA 1: Precaución: Este reactivo es tóxico, evitar su ingestión.

Solución de brucina-ácido sulfúrico

Disolver 1.0 g de sulfato de brucina y 0.1 g de ácido sulfanílico en aproximadamente 70 cm^3 de agua destilada caliente. Añadir 3 cm^3 de HCl concentrado, enfriar y aforar a 100 cm^3 . Esta solución es estable por algunos meses. El color rosa que desarrolla lentamente no afecta su utilidad.

NOTA 2: Precaución, el sulfato de brucina es tóxico, evitar su ingestión.

Solución de ácido sulfúrico

Agregar con cuidado 500 cm^3 de H_2SO_4 concentrado a 125 cm^3 de agua destilada, enfriar a temperatura ambiente antes de usarlo y mantenerlo en un frasco herméticamente cerrado para prevenir la absorción de la humedad atmosférica.

Solución de cloruro de sodio

Disolver 300 g de NaCl y diluir a 1000 cm^3 con agua destilada.

Suspensión de hidróxido de aluminio

Disolver 125 g de sulfato de aluminio y potasio [$K_2Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$] ó sulfato de aluminio y amonio [$(NH_4)_2Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$] en 1000 cm³ de agua destilada. Calentar a 333 K (60 °C) y adicionar 55 cm³ de hidróxido de amonio (NH₄OH) concentrado, lentamente y con agitación. Dejar la mezcla reposar unas horas y decantar. Lavar el precipitado por adiciones sucesivas de agua destilada con mezclado manual y decantaciones, hasta que se encuentre libre de olores amoniacaes.

Preparación de la muestra

Clarificar la muestra con hidróxido de aluminio en caso de turbidez y filtrar con papel filtro poro medio. Si la muestra contiene cloro residual, remover este por adición de una gota de la solución de arsenito de sodio por cada 0.10 mg de Cl₂ y mezclar (añadir una gota de exceso a una porción de 50 cm³).

Desarrollo de color

1. Colocar el número requerido de tubos de reacción en la gradilla metálica dejando un espacio vacío entre cada tubo, incluyendo un tubo para un blanco y los tubos preparados para la curva.
2. Poner en cada tubo 10.0 cm³ de la muestra. Poner la gradilla que contiene tanto la muestra, el blanco y los tubos de la curva en baño de agua fría y añadir en un tubo 2 cm³ de la solución de NaCl, tapar los tubos con tapones de baquelita y mezclar invirtiendo varias veces.
3. Agregar 10 cm³ de la solución ácido sulfúrico (5.5), tapar y mezclar invirtiendo varias veces los tubos. NOTA: 3, Si se ha desarrollado turbidez o color en este punto, leer la absorbancia de la muestra a 410 nm y restarla a su lectura final.
4. Colocar la gradilla de nuevo en el baño de hielo y añadir 0.5 cm³ del reactivo Brucina-ácido sulfanílico a cada tubo.
5. Mezclar por inversión y colocar la gradilla en el baño de agua a la temperatura de ebullición.
6. Exactamente después de 20 minutos, sacar las muestras del baño de agua caliente y sumergirlas en agua fría. Cuando estén a temperatura ambiente leer las absorbancias de los patrones y muestras contra el blanco de reactivos a 410 nm.
7. Obtener las lecturas de mg de nitrógeno de nitratos directamente de la curva de calibración y calcular la concentración real de la muestra.

ANEXO V. SÍNTESIS DE LA NORMA NMX-AA-074-1981, PARA LA DETERMINACIÓN DEL IÓN SULFATO-POR EL MÉTODO TURBIDIMÉTRICO.

Campo de aplicación

Estos métodos son aplicables para la determinación del ion sulfato en aguas naturales y residuales con un ámbito de aplicación de 10 a 100 mg/l, para el método gravimétrico, en este método puede ampliarse el ámbito, ajustando la cantidad de la muestra, y de 10 a 60 mg/l, para el método turbidimétrico que se aplica cuando se requiere una determinación rápida de rutina o control de aguas industriales. (Ambos métodos expresados como SO_4).

Método turbidimétrico

Fundamento

El ión sulfato precipita con cloruro de bario, en un medio ácido (HCl), formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. La absorción espectral de la suspensión del sulfato de bario se mide con un nefelómetro o fotómetro de transmisión. La concentración de ión sulfato se determina por comparación de la lectura con una curva patrón.

Reactivos

Reactivo acondicionador - Mezclar 50 cm^3 de glicerol con una solución que contenga 30 cm^3 de ácido clorhídrico concentrado, 300 cm^3 de agua. 100 cm^3 de alcohol etílico o isopropílico al 95% y 75 g, de cloruro de sodio.

Cloruro de bario (BaCl_2) en cristales, malla DGN 6.5 M - DGN 10 M (malla US No. 20 - No. 30).

Solución estándar de sulfato - Preparada como se describe a continuación (1.00 cm^3 de esta solución = 100 μg de SO_4).

Aforar a 100 cm^3 con agua, 10.41 cm^3 de solución tituladora estándar de ácido sulfúrico 0.0200 N, disolver en agua 147.9 mg de sulfato de sodio anhidro y aforar a 1000 cm^3 .

Aparatos

- ❖ Agitador magnético de velocidad de agitación constante, de tal modo que no ocurran salpicaduras y con magnetos de forma y tamaños idénticos.
- ❖ Espectrofotómetro, para usarse a 420 nm, y que suministre un paso de luz de 4 a 5 cm.
- ❖ Cronómetro para medir el tiempo de reacción.
- ❖ Cucharilla medidora, con capacidad de 0.2 cm^3 a 0.3 cm^3 .

Preparación de la curva de calibración

Estimar la concentración del ión sulfato en la muestra, comparando la lectura de turbiedad con una curva de calibración preparada con el uso de los patrones de sulfato, durante todo el procedimiento.

ANEXO VI. SÍNTESIS DEL MÉTODO 2320 B-1995, PARA LA DETERMINACIÓN DE BICARBONATOS DE LA ALCALINIDAD DEL AGUA APHA 1995.

Campo de aplicación

Este método, es aplicable para la determinación de la alcalinidad de carbonatos y bicarbonatos, en aguas naturales, domésticas, industriales y residuales. La medición de la alcalinidad, sirve para fijar los parámetros del tratamiento químico del agua, así como ayudarnos al control de la corrosión y la incrustación en los sistemas que utilizan agua como materia prima o en su proceso.

Principios

En este método, la alcalinidad se determina por titulación de la muestra con una solución valorada de un ácido fuerte como el HCl, mediante dos puntos sucesivos de equivalencia, indicados por medio del cambio de color de dos indicadores ácido-base adecuado.

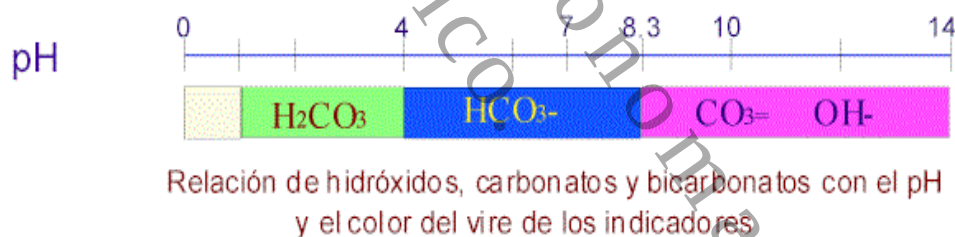


Figura 27: Relación de los bicarbonatos y carbonatos con el pH.

Material

- 2 Matraces volumétricos de 1000 ml.
- 2 Matraces volumétricos de 100 ml.
- 1 Cápsula de porcelana.
- 1 Soporte con pinzas para bureta.
- 1 Bureta de 25 ml.
- 1 Pipeta de 5 ml.
- 2 Gotero.
- 2 Matraces Erlenmeyer de 125 ml.

Reactivos

Agua destilada

Agua que cumpla la especificación ASTM D-1193 tipo I, además, deberá estar libre de CO_2 y tener un pH de 6.2 a 7.2 a 25 °C.

Fenolftaleína (0.25%)

Disolver 0.25 de fenolftaleína en 100 ml de etanol al 50 %

Azul de bromofenol (0.04%)

Disolver 0.04 g. de azul de bromofenol en 15 ml. NaOH 0.01N y aforar a 100 ml con agua destilada.

Solución de HCl 0.01N.

Adicionar 0.83 ml, de HCl al 37 % en agua destilada y aforar a 1000 ml con agua destilada.

Solución de Na_2CO_3 0.01 N

Disolver 0.530 g de Na_2CO_3 , en agua destilada y aforar a 1000 ml.

Procedimiento

1. Colocar 5 ml de muestra de agua en un matraz erlenmeyer de 125 ml.
2. Agregar 3 gotas de indicador fenolftaleína al 0.25%
3. Si aparece un color rosa, titular con HCl 0.01N hasta un vire incoloro, si no aparece el color rosa, reportar carbonatos igual a cero.
4. Agregar 3 gotas de azul de bromofenol 0.04% al mismo matraz apareciendo un color azul continuar titulado con HCl 0.01N hasta la aparición de un color verde. Para calcular bicarbonatos se usa la siguiente formula.

Cálculos

$\text{meq/l de HCO}_3^- = (T-2V) \times N \times 1000/\text{ml. de muestra}$

Dónde:

T = ml. de HCl gastado en las 2 titulaciones

V = ml. gastados en la primera titulación

N = Normalidad del HCl.

ANEXO VII. DATOS MENSUALES DE LOS EVENTOS DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA VENTA HUIMANGUILLO TABASCO.

Tabla 15: Datos del promedio de los análisis fisicoquímicos del agua de lluvia de La Venta, H., Tabasco (Agosto 2011-Febrero 2012).

Análisis fisicoquímicos determinados al agua de lluvia	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
Potencial de hidrógeno (pH)	4.2	6.77	5.31	0.75
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	6.6	76	18.68	24.77
Cloruros (ppm)	3.54	35.45	14.45	7.77
Nitratos (ppm)	0.20	6.52	1.28	1.49
Sulfatos (ppm)	0.04	0.99	0.18	0.16
Bicarbonatos (ppm)	0.10	0.20	0.11	0.03

ANEXO VIII. TABLAS DE DATOS DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN, PARA NITRATOS Y SULFATOS.

Las Tablas 15 y 16 muestran los valores de concentración y absorbancia para determinar la curva de calibración. Y así como también en las Figuras 28 y 29, muestran gráficamente el comportamiento de los datos de la curva de calibración.

Tabla 16: Datos de la curva de calibración para Nitratos.

Concentración (ppm)	Absorbancia
0	0
10	0.251
20	0.3
40	0.399
70	0.541
100	0.665
$R^2 = 0.985$	

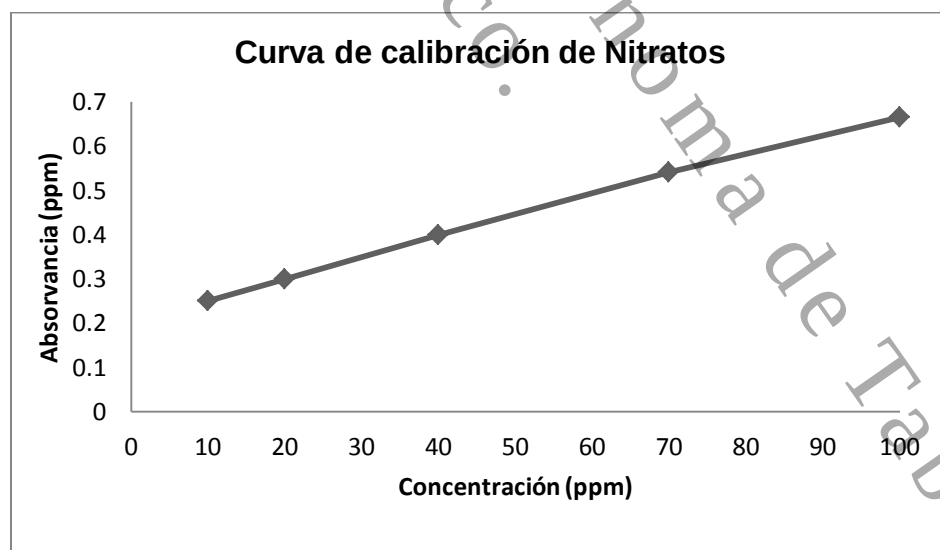


Figura 28: Curva de calibración para Nitratos.

Tabla 17: Datos de la curva de calibración para sulfatos.

Concentración (ppm)	Absorbancia
0	0
0	0.127
5	0.243
10	0.246
15	0.34
20	0.409
$R^2 = 0.0972$	

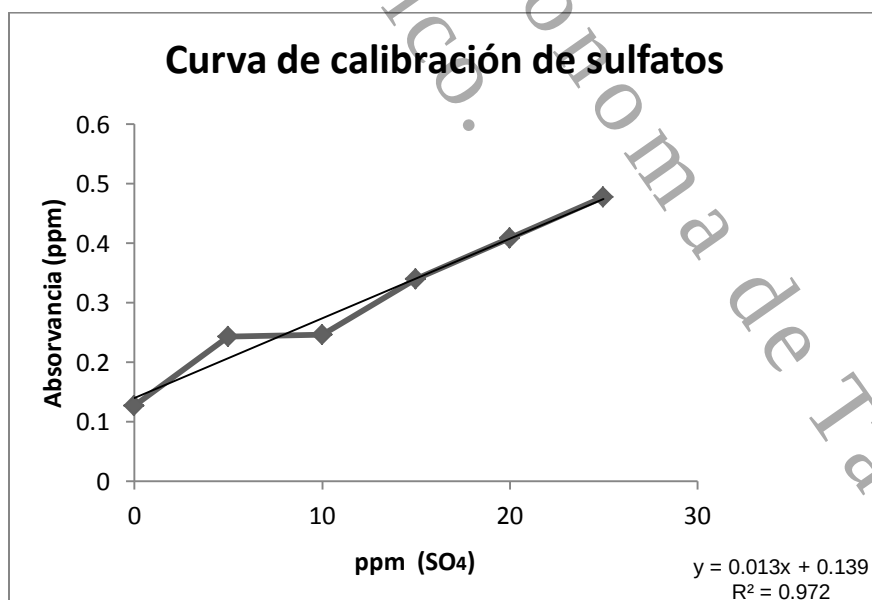


Figura 29: Curva de calibración para sulfatos.

ANEXO IX. DATOS DE LAS DETERMINACIONES DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LA LLUVIA EN LA VENTA, H., TABASCO.

Tabla 18: Datos de los análisis fisicoquímicos de los eventos de lluvia en La Venta H. Tabasco Septiembre 2011-Febrero 2012.

Fecha	Muestra	Vol.	pH	C.E	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻
		ml		µS/cm	ppm	ppm	ppm	ppm
08-sep-11	Testigo 1	1520	6.2	42.3	14.18	0.69	0.207	0.1
09-sep-11	Testigo 2	1610	4.63	75	21.27	0.58	0.216	0.1
09-sep-11	Testigo 3	1640	4.63	75.2	14.18	0.7	0.216	0.1
12-sep-11	Testigo 1	2120	4.8	18	14.18	0.56	0.169	0.2
12-sep-11	Testigo 2	2180	4.57	19	14.18	0.8	0.216	0.1
13-sep-11	Testigo 2	2220	4.99	16.6	14.18	0.2	0.169	0.1
13-sep-11	Testigo 3	2190	4.58	15.5	21.27	0.76	0.207	0.1
15-sep-11	Testigo 2	2560	4.58	10.6	14.18	0.5	0.216	0.1
15-sep-11	Testigo 3	2628	4.56	10.4	14.18	0.3	0.216	0.1
17-sep-11	Testigo 1	1230	4.2	7.7	14.18	0.6	0.169	0.1
17-sep-11	Testigo 2	1260	4.6	6.6	14.18	0.6	0.216	0.1
20-sep-11	Testigo 1	2450	4.48	12.9	14.18	0.8	0.169	0.1
20-sep-11	Testigo 2	2236	4.52	14.4	14.18	0.6	0.216	0.1
20-sep-11	Testigo 3	2620	4.26	13.3	14.18	0.375	0.216	0.1
04-oct-11	Testigo 1	3500	4.5	9.8	14.18	2.125	0.1696	0.2
15-oct-11	Testigo 1	2000	4.4	7.7	14.18	2.075	0.0941	0.1
15-oct-11	Testigo 2	3000	4.3	6.6	14.18	2.075	0.1057	0.1
17-oct-11	Testigo 1	1000	4.5	7.2	14.18	2.075	0.2954	0.1
17-oct-11	Testigo 2	800	4.6	7.7	21.27	2.075	0.2734	0.1
20-oct-11	Testigo 2	1000	4.8	9.3	14.18	2.075	0.4613	0.1
20-oct-11	testigo 3	2500	5.5	9.8	14.18	2.075	0.4442	0.1
01-nov-11	Testigo 1	1000	5.8	9.8	21.27	0.2	0.3772	0.1
10-nov-11	Testigo 1	1000	6.2	9.3	14.18	0.69	0.3827	0.1
10-nov-11	Testigo 2	800	5.8	8.8	14.18	0.35	0.29	0.1
10-nov-11	Testigo 3	1000	6.2	9.6	14.18	0.69	0.38	0.1
12-nov-11	Testigo 1	1000	6	11.4	14.18	0.82	0.32	0.1
12-nov-11	Testigo 2	1000	5.8	10.6	7.09	0.5	0.43	0.1
12-nov-11	Testigo 3	1000	5.8	9.2	7.09	0.7	0.38	0.1
15-nov-11	Testigo 1	800	6.15	12.2	7.09	0.59	0.36	0.1

Tabla 18. Continuación 1.

Fecha	Muestra	Vol.	pH	C.E	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻
		MI		μS/cm	ppm	ppm	ppm	ppm
15-nov-11	Testigo 2	800	5.9	10.8	7.09	0.75	0.33	0.1
05-dic-11	Testigo 1	1000	6.54	74.8	7.09	2.6	0.27	0.2
07-dic-11	Testigo 1	1000	6.77	73.1	35.45	1.8	0.38	0.2
07-dic-11	Testigo 2	1000	6.55	71.5	35.45	1.825	0.99	0.2
07-dic-11	Testigo 3	1000	6.33	74	35.45	2.6	0.39	0.2
09-dic-11	Testigo 1	1000	5.9	76	28.36	1.8	0.04	0.2
09-dic-11	Testigo 2	1000	6	75	35.45	1.825	0.12	0.2
09-dic-11	Testigo 3	1000	6.5	72.4	21.27	1.825	0.09	0.2
16-ene-12	Testigo 1	3010	6.5	15.4	14.18	2.175	0.6	0.1
16-ene-12	Testigo 2	3685	6.15	11.6	21.27	2.45	0.33	0.1
30-ene-12	Testigo 1	1000	5.04	55	14.18	1.875	0.12	0.1
30-ene-12	Testigo 2	4000	5.11	62	21.27	6.525	0.04	0.1
30-ene-12	Testigo 3	826	5.7	28.6	21.27	2.65	0.08	0.1
02-feb-12	Testigo 2	660	5.4	29.3	3.545	4.65	0.09	0.1
02-feb-12	Testigo 3	528	5.3	32.8	7.09	4.6	0.1	0.1
02-feb-12	Testigo 1	2780	4.9	10.8	7.09	4.65	0.04	0.1
09-feb-12	Testigo1	3907	5.82	15.6	3.545	5.075	0.08	0.1
09-feb-12	Testigo 2	3760	5.82	10.6	14.18	5.5	0.09	0.1
09-feb-12	Testigo 3	1280	5.1	20.3	14.18	1.95	0.12	0.1
13-feb-12	Testigo 1	1745	5.12	23.6	14.18	2.875	0.04	0.1
13-feb-12	Testigo 2	1900	6.2	21.8	21.27	2.6	0.08	0.1
13-feb-12	Testigo 3	950	5.2	22.6	28.36	2.62	0.09	0.1

ANEXO X. DATOS DE LAS DETERMINACIONES DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LA LLUVIA EN LA VENTA, TABASCO.

Tabla 19: Datos promedio de los análisis fisicoquímicos de los 23 eventos de lluvia en La Venta H. Tabasco Septiembre 2011-Febrero 2012.

Fecha	pH	C.E	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻
		μS/cm	ppm	ppm	ppm	ppm
08-sep-11	6.2	42.3	14.18	0.69	0.207	0.1
09-sep-11	4.63	75.1	17.725	0.64	0.216	0.1
12-sep-11	4.63	18.5	14.18	0.68	0.192	0.15
13-sep-11	4.8	16.05	17.725	0.48	0.188	0.1
15-sep-11	4.57	10.5	14.18	0.4	0.216	0.1
17-sep-11	4.99	7.15	14.18	0.6	0.192	0.1
20-sep-11	4.58	13.65	14.18	0.59	0.2	0.1
04-oct-11	4.58	9.8	14.18	2.125	0.169	0.2
15-oct-11	4.56	7.15	14.18	2.075	0.099	0.1
17-oct-11	4.2	7.45	17.725	2.075	0.284	0.1
20-oct-11	4.6	9.55	14.18	2.075	0.452	0.1
01-nov-11	4.48	9.8	21.27	0.2	0.377	0.1
10-nov-11	4.52	9.23	14.18	0.57	0.35	0.1
12-nov-11	4.26	10.4	9.45	0.67	0.376	0.1
15-nov-11	4.5	11.5	7.09	0.67	0.345	0.1
05-dic-11	4.4	74.8	7.09	2.6	0.27	0.2
07-dic-11	4.3	72.86	35.45	2.075	0.586	0.2
09-dic-11	4.5	74.46	28.36	1.81	0.083	0.1
16-ene-12	4.6	13.5	17.725	2.31	0.465	0.1
30-ene-12	4.8	58.5	18.9	3.683	0.08	0.1
02-feb-12	5.5	24.3	5.9	4.633	0.095	0.1
09-feb-12	5.8	15.45	10.635	4.175	0.096	0.1
13-feb-12	6.2	22.66	21.27	2.69	0.07	0.1