

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA



**Las industrias generan emisión a la atmósfera que contribuyen
a la formación de lluvia ácida**

POR:

CARLOS ANTONIO MARTINEZ MACHADO

INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA.

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Torreón, Coahuila, México
FEBRERO 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

Las industrias generan emisión a la atmósfera que contribuyen
a la formación de lluvia ácida

Por:

CARLOS ANTONIO MARTÍNEZ MACHADO
MONOGRAFÍA

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES


ING. JOEL LIMONES AVITIA
Presidente

Aprobada por:


M.C. NATALIA BELEN ORTEGA MORALES
Vocal


DR. ALFREDO OGAZ
Vocal


DR. ISAIAS LÓPEZ HERNÁNDEZ
Vocal Gupiente


DR. ISAIAS DE LA CRUZ ÁLVAREZ
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
FEBRERO 2021

Universidad Autónoma Agraria
ANTONIO NARRO



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

**Las industrias generan emisión a la atmósfera que contribuyen
a la formación de lluvia ácida**

Por:

CARLOS ANTONIO MARTÍNEZ MACHADO

MONOGRAFIA

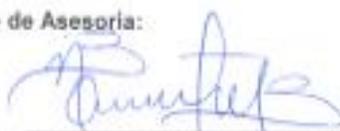
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por el Comité de Asesoría:



ING. JOEL JIMONES AVITIA
Asesor Principal



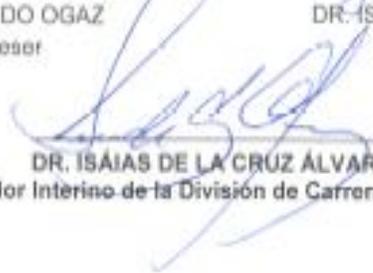
M.C. NATALIA BELEN ORTEGA MORALES
Coasesor



DR. ALFREDO OGAZ
Coasesor



DR. ISAIAS LÓPEZ HERNÁNDEZ
Coasesor



DR. ISAIAS DE LA CRUZ ÁLVAREZ
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
FEBRERO 2021



AGRADECIMIENTOS

En esta etapa en el que culmina el final de mi formación universitaria agradezco primeramente a Dios por ver sido mi fortaleza, mi motivación y mi guía por este largo camino de cuatro, también por permitirme terminar esta bonita etapa.

Agradecerle infinitamente a mi escuela, mi “Alma Terra Mater” Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme otorgado la oportunidad de ser uno de sus alumnos, por haberme apoyado en mi formación universitaria y terminar este proyecto en mi vida.

Agradecer de igual forma al Ingeniero Joel Limones Avitia por haberme apoyado en este proyecto siendo mi asesor, y así lograr obtener mi título universitario como Ingeniero en Procesos Ambientales.

A mis demás asesores Dr. Natalia Belén Ortega, Dr. Isaías Flores, Dr. Alfredo Ogaz por estar presente de este proyecto y brindarme su apoyo.

A mis profesores por todo lo que me enseñaron a lo largo de este trayecto de formación y por la paciencia que me brindaron para darme lo mejor de sí mismo.

DEDICATORIAS

A mis padres, Juan Carlos Martínez Ríos y María Elizabeth Machado Favela por ser quienes a lo largo de mi vida me educaron, me enseñaron buenos valores y principios, me motivaron a ser buena persona y sobre todo me apoyaron en cada etapa de mi vida como estudiante.

A mis hermanos, Jesús Alfredo Martínez Machado y Andrea Elizabeth Martínez Machado por haberme motivado en mis momentos difíciles como estudiante y sobre todo el apoyo y cariño moral que me brindaron siempre.

A mis abuelas, Antonia Ríos y Fidencia Favela, por darme sus buenos consejos y el apoyo moral y sus bendiciones sobre enseñarme a valorar a la familia.

A mi novia, Brenda Berenice Luna Guzmán por apoyarme siempre y brindarme su amor, cariño, siendo muy buena compañera de clases durante la carrera y por estar ahí siempre cuando más la necesitaba

Resumen.

La lluvia ácida comprende tanto a la precipitación, depósito, deposición, depositación húmeda de sustancias ácidas disueltas en el agua lluvia, nieve y granizo, como a la precipitación o depositación seca, por la cual los aerosoles o compuestos gaseosos ácidos son depositados como cenizas, hollín o como gases en el suelo, en las hojas de los árboles y en las superficies de los materiales, en realidad, estas partículas no tienen carácter ácido mientras están en la atmósfera, pero cuando entran en contacto con la neblina, el rocío o el agua superficial, se convierten en ácidos y tienen efectos similares a los de la precipitación húmeda. Cuando los combustibles fósiles como el carbón, la gasolina y los combustibles se queman, emiten óxidos de azufre, carbono y nitrógeno en el aire, estos óxidos se combinan con la humedad del aire para formar ácido sulfúrico, ácido carbónico y ácido nítrico, respectivamente, la lluvia ácida causada por la contaminación atmosférica por la presencia de CO_2 , SO_2 y NO_x , se ha experimentado desde hace tiempo en todo el mundo, aunque con variación de intensidad de ocurrencias en diferentes regiones y época de un año.

La lluvia ácida afecta directamente a las balanzas químicas y del pH, el efecto ecológico de la lluvia ácida se observa más claramente en los ambientes terrestres, acuáticos, como arroyos, lagos y pantanos, la lluvia también cae directamente en estas áreas, a medida que aumenta la acidez de un lago, el agua se hace más clara, el número de peces y otros animales de agua declinan, algunas especies de plantas y animales son más capaces de sobrevivir en agua que otros. La lluvia ácida que cae sobre la tierra puede aumentar la liberación de metales pesados de los suelos, contaminando las aguas subterráneas y el deterioro de los ecosistemas terrestres y acuáticos. los efectos de la lluvia ácida en las plantas pueden determinarse a varios niveles, particularmente a partir de los cambios en las condiciones bioquímicas y

Fisiológicas a través de los órganos y la respuesta de la planta entera, incluyendo los síntomas visibles de lesión y otros efectos como la reducción de la fotosíntesis y las variaciones en actividades enzimáticas.

Palabras clave: Acidificación, Combustión, Contaminación, Emisiones, Precipitación,

Índice general.

Agradecimientos.....	i
Dedicatorias	ii
Resumen	iii
Índice general.....	v
1.1 Introducción.....	1
2.0 Objetivos	5
3.0 Revisión de Literatura.....	6
3.1 Concepto de Lluvia Ácida	6
3.2 Requerimientos para la formación de Lluvia Ácida.	7
3.3 Composición química de la Lluvia Ácida.....	9
3.4 Efectos de la Lluvia Ácida sobre el medio ambiente	11
3.5 Consecuencias de la lluvia ácida	12
3.6 Formación de lluvia ácida por aerosoles.....	14
3.7 Comportamiento del pH de la lluvia ácida sobre el suelo	14
3.8 Efecto de la lluvia ácida simulada sobre la función de la comunidad microbiana del suelo	16
3.9 Lixiviación de los metales pesados en los suelos por la simulación de la Lluvia Ácida	17
3.10 Efecto de simulación de la Lluvia ácida en las plantas	18
3.11 Disminución de las especies de macro algas causado por agua de mar de bajo pH inducida por la lluvia ácida.....	21
3.12 El efecto de la intensidad de la lluvia en la eliminación de iones, cambio de aniones y cationes bajo la influencia de lluvia ácida.....	22
3.13 Reducción de emisiones de los gases a la atmósfera para la disminución de la lluvia ácida.....	23
4.0 Conclusiones.....	25
Recomendaciones	26
5.0 Bibliografía Citada	27

1.1 Introducción.

La lluvia ácida surgió como un problema ambiental en China a finales de 1970, la preocupación por los posibles efectos del ácido lluvia surgió más tarde en Europa y América del Norte, con respecto a la lluvia ácida en China apareció en la década de 1970, muchos años de crecimiento económico sin precedentes han aumentado la demanda de energía, mayor combustión del carbón y mayores emisiones de contaminantes, como resultado, importantes emisiones de azufre, se provoca lo que es la lluvia ácida generalizada al sureste de China, de hecho, la deposición de azufre es en algunos lugares más alta que lo que se informó del "triángulo negro" en Europa central a principios de los años ochenta, además, el nitrógeno se emite de la agricultura, la producción de energía y aumento del número de coches, como resultado, se produce una deposición considerable de contaminantes en áreas boscosas previamente pensadas para ser primitivos (Larssen *et al.*, 2006). La contaminación de la lluvia ácida se observó por primera vez en 1852, actualmente la lluvia ácida se ha convertido en un creciente problema ambiental mundial (Fan *et al.*, 2012).

La obtención de energía es una de las principales fuentes de contaminación, el elevado incremento de energía que se ha experimentado en los últimos años en escala mundial, el aumento de las emisiones de SO₂ a la atmósfera, procedentes la mayoría de la combustión de carbones la mayoría ricos en azufre, los importantes daños que provocaron las lluvias ácidas sobre los bosques y diferentes lugares del hemisferio norte en la década de los setentas, generaron una fuerte alarma social y llevaron las primeras medidas políticas de gestión ambiental enfocadas a la protección del aire y agua (de la Cruz y Crespo, 2000).

La reversibilidad de la acidificación es un tema muy importante, por razones tanto políticas como científicas, es importante políticamente porque miles de millones han sido invertidos en la limpieza de las emisiones que causan la lluvia ácida, por lo que vale la pena saber cuánta mejoría se ha conseguido (W. Berger *et al.*, 2016).

Las influencias de la lluvia ácida en los ecosistemas naturales son una preocupación medioambiental creciente (Solórzano-García *et al.*, 2015). La lluvia ácida ha sido un grave problema mundial durante varias décadas, junto con Europa y América del Norte, China se ha convertido en una de las regiones del mundo más afectadas por la lluvia ácida (Ting-Wu *et al.*, 2012).

En las últimas décadas la deposición ácida y el papel de contaminantes ácidos se ha convertido en la causa de considerable preocupación tanto a nivel nacional como internacional (Bravo *et al.*, 2006).

Además, la lluvia ácida resultante de la quema de los combustibles fósiles que libera una gran cantidad de SO₂ y NO_x afectar seriamente la calidad del medio ambiente (Leng *et al.*, 2014).

La deposición ácida se forma a partir de SO₂ y NO_x emitidos a la atmósfera, en gran parte debido a la combustión del combustible fósil, especialmente fuentes del transporte (Zhang *et al.*, 2012). También cuando se queman combustibles fósiles como el carbón, la gasolina y los combustibles, emiten óxidos de azufre, carbono y nitrógeno en el aire, estos óxidos combinan con la humedad en el aire para formar ácido sulfúrico, ácido carbónico y ácido nítrico, respectivamente, cuando llueve o cae nieve, estos ácidos son traídos a la tierra en lo que se llama lluvia ácida, los depósitos ácidos son de humedad cuando los ácidos ocurren por cualquier forma

de precipitación y tipo seco cuando los depósitos ocurren por deposición seca en ausencia de precipitación y en los depósitos secos partículas y gases se adhieren al suelo, plantas y otras superficies (Yadav, 2013).

La lluvia ácida se produce cuando los contaminantes ácidos, dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) se precipitan en forma de lluvia, nieve, granizo, o niebla, en la actualidad China se ha convertido en la tercera zona de la lluvia ácida en el mundo, sólo por detrás de Europa y América del Norte, con la industrialización y la urbanización, el consumo de combustibles fósiles ha ido creciendo rápidamente en todo el mundo, como resultado, la gravedad de la contaminación por lluvia ácida atrajo gran atención del público y estimuló una extensa investigación sobre su impacto (Zhang y Chang, 2012).

En la actualidad, el efecto negativo del ambiente de lluvia ácida en la durabilidad de las instalaciones de infraestructura y los edificios históricos ha sido el foco de atención en todo el mundo, es evidente que el deterioro de los materiales de construcción conducirá a una rápida degradación de las estructuras (Fan *et al.*, 2012). En consecuencia, las condiciones de lluvia ácida se desarrollarán en una atmósfera contaminada, esto nos conduce al deterioro de los metales y aleaciones sometidas a tales ambientes (Gerengi *et al.*, 2016).

La lixiviación de metales pesados de suelos estabilizados debido a la filtración de la lluvia ácida es una preocupación en muchas partes del mundo, incluyendo el este de Estados Unidos, China y los países en desarrollo (Dua *et al.*, 2014b).

También la precipitación ácida puede dar lugar a síntomas de toxicidad visibles en las plantas, incluyendo punto de clorótico y las manchas necróticas en las hojas, la lluvia ácida en los resultados en la acidificación del suelo, lo que aumenta el intercambio entre los iones de hidrógeno y cationes de nutrientes tales como el potasio (K) y calcio (Ca) en plantas (Tong y Zhang, 2014b).

La lluvia ácida es un fenómeno que se puede dar de forma natural gracias a las emisiones de los volcanes al emitir el azufre (SO_2) esto ha existido siempre en la historia pero el problema aquí es que en los últimos años la lluvia acida es un problema medio ambiental muy grave, un problema que daña no solo a sociedad sino también a la flora y la fauna que pueden encontrarse en las grandes ciudades, también la caída de lluvia acida afecta al suelo y colabora al deterioro de los edificios, la lluvia acida es un problema medio ambiental ¿Qué relación hay con las emisiones debidas a la combustión de las industrias con la formación de la lluvia acida?.

2.0 Objetivos

2.1 Objetivo general.

Describir las actividades que origina la formación de la lluvia ácida, debido a las emisiones de gases a la atmósfera, provenientes de fuentes fijas.

2.2 Objetivo específico.

La lluvia acida es un problema de importancia ocasionado por las actividades antropogénicas y por la misma naturaleza, la presente investigación tiene como finalidad el dar a conocer esta problemática ambiental.

3.0 Revisión de Literatura.

3.1 Concepto de Lluvia Acida.

El término lluvia ácida comprende tanto a la precipitación, depósito, deposición, depositación húmeda de sustancias ácidas disueltas en el agua lluvia, nieve y granizo, como a la precipitación o depositación seca, por la cual los aerosoles o compuestos gaseosos ácidos son depositados como cenizas o como gases en el suelo, en las hojas de los árboles y en las superficies de los materiales, en realidad, estas partículas no tienen carácter ácido mientras están en la atmósfera, pero cuando entran en contacto con la neblina, el rocío o el agua superficial, se convierten en ácidos y tienen efectos similares a los de la precipitación húmeda (Lisjestrang y Morgan, 1978).

El origen de compuestos como los óxidos de azufre y de nitrógeno puede aparecer por efecto natural o antropogénico, las fuentes naturales comprenden emisiones volcánicas, tormentas eléctricas, biomasa, actividad microbiana, entre otros, las fuentes antropogénicas corresponden a las emisiones de fuentes fijas provenientes de plantas industriales de combustibles fósiles como carbón y petróleo y fuentes móviles, representadas principalmente por las emisiones de los motores de combustión interna de los vehículos de transporte (COOPERATION., 1990).

Cuando ciertas sustancias como los óxidos de azufre y de nitrógeno entran en la atmósfera, pueden ser desplazados por el viento miles de kilómetros antes de retomar a la superficie terrestre, su tiempo de permanencia en la atmósfera depende de los procesos físicos de dispersión, transporte y depositación, cuanto más tiempo permanezcan estos óxidos en la atmósfera, es más probable que se transformen en sustancias de carácter ácido, el pH es el símbolo que utiliza la química para medir la acidez o alcalinidad de las soluciones, la lluvia ácida tiene un pH inferior a 5,6 y puede ir hasta 2,5 y excepcionalmente a 1,0 (Lisjestrang y Morgan, 1978).

La precipitación ácida es un fenómeno bien descrito en el norte de Europa (Oden, 1976), la extensión de la lluvia ácida a través de Europa y la mayor intensidad de la acidez de la lluvia a mayores emisiones antropogénicas de NO_x y SO_2 , el ácido mayor se considera ácido sulfúrico con otros ácidos y bases que contribuyen a la acidez neta de la precipitación, la lluvia ácida es un grave problema ambiental en todo el mundo (Shukla *et al.*, 2012). Uno de los efectos de la contaminación atmosférica es la lluvia ácida, reconocido como un problema medioambiental global adversamente afectando los suelos, la vegetación, los ecosistemas acuáticos y edificios y monumentos (Cowling, 1982).

La precipitación ácida puede causar la acidificación de los cuerpos de agua, afectar el crecimiento normal y el desarrollo de la flora y de la fauna acuática (Zhang *et al.*, 2010). También puede disolver los metales pesados en el suelo y los sedimentos, dañando el crecimiento de los organismos acuáticos (Fang *et al.*, 2013).

3.2 Requerimientos para la formación de la Lluvia Acida.

Para efectos de análisis, se definirá el concepto de contaminante del aire, este corresponde a cualquier sustancia presente en la atmósfera que haya sido originada por la actividad del hombre o por procesos naturales, que afecte al ser humano o al medio ambiente, los contaminantes se clasifican en los siguientes:

Contaminante primario.- Son los que permanecen en la atmósfera tal y como fueron emitidos por la fuente, para fines de evaluación de la calidad del aire se consideran: óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos y partículas.

Contaminante secundario.- Son los que han estado sujetos a cambios químicos, o bien, son el producto de la reacción de dos o más contaminantes primarios en la

atmósfera, entre ellos destacan oxidantes fotoquímicas y algunos radicales de corta existencia como el ozono O₃ (Contreras y Salas, 2012).

Cuando los combustibles fósiles como el carbón, la gasolina y los combustibles se queman, emiten óxidos de azufre, carbono y nitrógeno en el aire, estos óxidos se combinan con la humedad del aire para formar ácido sulfúrico, ácido carbónico y ácido nítrico, respectivamente, la lluvia ácida causada por la contaminación atmosférica por la presencia de CO₂, SO₂ y NO_x, se ha experimentado desde hace tiempo en todo el mundo, aunque con variación de intensidad de ocurrencias en diferentes regiones y época de un año (Yadav, 2013).

Dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x), que se derivan de la combustión de combustibles fósiles y las emisiones de tráfico, son dos componentes principales de la contaminación del aire (Chen *et al.*, 2013b).

El área afectada por el ácido grave se estima que la deposición exceda de un millón de km², lo que representa alrededor del 40% del área territorial de China, en China, hay áreas contaminadas: China Central, Suroeste de China y el este de China.

En la actualidad a nivel mundial estamos pasando por una situación difícil, el cual está relacionada con las emisiones de las grandes industrias que se encuentran en las grandes ciudades que emiten bastantes y grandes cantidades de SO₂ y NO_x, estas emisiones ayudan a contribuir a la formación de lluvia ácida, siendo este un problema ambiental grave.

3.3 Composición química de la Lluvia Acida.

Los Óxidos de azufre han sido ampliamente estudiados, ellos incluyen seis compuestos gaseosos diferentes que son: monóxido de azufre (SO), dióxido de azufre (SO₂), trióxido (SO₃), tetraóxido (SO₄), sesquióxido (S₂O₃) y heptóxido (S₂O₇). El SO₂ y SO₃ son los dos óxidos de mayor interés en el estudio de contaminación del aire (Likens y Bormann, 1974). El SO₂ es altamente soluble en agua y relativamente estable en la atmósfera, se estima que permanece en esta de 2 a 4 días, intervalo durante el cual puede ser transportado a más de 1000 km. del punto de emisión (Garcés y Hernández, 2004). Actúa como agente oxidante o reductor y reacciona fotoquímicamente o catalíticamente con otros componentes en la atmósfera, el SO₂ puede producir SO₃, H₂SO₄ y sales del ácido sulfúrico como se presenta en las reacciones 1 y 2, siendo uno de los mayores precursores de la lluvia ácida (COOPERATION., 1990). Las reacciones que se llevan a cabo son:



Los carbonates son reemplazados por sulfatos, los cuales son más solubles en agua, como se indica en la reacción 3:



El sulfato de calcio, o yeso, formado en este proceso es lavado de nuevo dejando una superficie descolorida y "picada".

Los Óxidos de nitrógeno incluyen los compuestos gaseosos: óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂), óxido nitroso (N₂O), sesquióxido (N₂O₃), tetraóxido (N₂O₄) y pentóxido (N₂O₅). Los dos óxidos de nitrógeno considerados como mayores contaminantes atmosféricos primarios son el NO y el NO₂ 4,15. El NO₂ es fácilmente soluble en agua, más pesado que el aire, en el rango ultravioleta el NO₂ es un buen absorbedor de energía, por lo tanto, juega un papel importante en la producción de contaminantes secundarios y con el vapor de agua existente en el aire por la humedad forma ácido nítrico, ácido nitroso y óxido nítrico como se indica en las reacciones 4 y 5 (Lewis y Grant, 1980):



Ambos ácidos producen acidez en el agua lluvia. Además, se combinan con el amoniaco (NH₃) de la atmósfera para formar nitrato de amonio (NH₄NO₃).

El óxido nítrico (NO) es emitido a la atmósfera en cantidades mayores que el dióxido de nitrógeno (NO₂). Se forma en procesos de combustión a altas temperaturas cuando el oxígeno atmosférico se combina con el nitrógeno, de acuerdo a la reacción 6 (Garcés y Hernández, 2004):



3.4 Efectos de la Lluvia Acida sobre el medio ambiente.

Efecto sobre el medio acuático: Esto se debe al aumento de la acidez en cuerpos de agua que detiene el crecimiento de los huevos de ciertos organismos (peces) que afecta la población y su ecosistema (Wondydraw, 2014).

Efecto nocivo sobre la vegetación: Las hortalizas se destruyen debido al aumento de la acidez en el suelo, los nutrientes de sanguijuelas del suelo, y la desaceleración del crecimiento de las plantas, crea manchas marrones en las hojas de los árboles, impidiendo la fotosíntesis, permite a los organismos a infectar a través de hojas rotas (Wondydraw, 2014).

Afecta la salud humana: Provoca problemas respiratorios, asma, tos seca, dolores de cabeza e irritaciones de la garganta y sangrado. Las toxinas de los suelos son absorbidas por las plantas y por animales gracias a la lluvia ácida, cuando se consumen estas toxinas que afectan gravemente a la vida humana, que causan daño cerebral, problemas renales y la enfermedad de Alzheimer se han vinculado a personas que comen carne de "tóxicos" animales / plantas por estos contaminantes (Wondydraw, 2014).

Efecto en el transporte: Actualmente, tanto la industria ferroviaria como la industria del avión tienen que gastar mucho dinero para reparar el daño corrosivo causado por la lluvia ácida, además, los puentes se han derrumbado en el pasado debido a la corrosión de la lluvia ácida, la lluvia ácida disuelve la piedra y mortero de edificios (especialmente aquellos hechos de piedra arenisca o piedra caliza), reacciona con los minerales en la piedra para formar una sustancia pulverulenta que puede ser arrastrada por la lluvia (Wondydraw, 2014).

La lluvia ácida afecta directamente a las balanzas químicas y del pH, el efecto ecológico de la lluvia ácida se observa más claramente en los ambientes acuáticos

o acuáticos, como arroyos, lagos y pantanos, la lluvia ácida sale de la tierra y termina en arroyos, lagos y pantanos, la lluvia también cae directamente en estas áreas, a medida que aumenta la acidez de un lago, el agua se hace más clara, el número de peces y otros animales de agua declinan, algunas especies de plantas y animales son más capaces de sobrevivir en agua que otros (Osu y Ekpo, 2013).

La deposición ácida tiene efectos adversos en suelos y plantas (Hilmi *et al.*, 2013). Puede reducir el crecimiento y el rendimiento de las plantas debido a lesiones foliares, baja disponibilidad de nutrientes en los suelos o exposición de las plantas a las sustancias tóxicas que se liberan del suelo (Xuejun. *et al.*, 2011).

La acidez del agua no sólo afecta directamente a las especies; También causa que sustancias tóxicas como el aluminio sea liberadas en el agua del suelo, dañando a los peces y otros animales acuáticos (Osu y Ekpo, 2013).

3.5 Consecuencias de la lluvia acida.

La combustión de carbón y petróleo da como consecuencia emisiones de SO_2 , debido al contenido de azufre del carbón y el petróleo, especialmente de proteínas, el azufre reacciona con el O_2 en el aire, formando gas SO_2 , el sudoeste de Suecia sufrió de lluvia acida en los años desde 1960-1990 cuando los vientos dominantes trajeron el SO_2 en el aire y el H_2SO_4 (Rosborg y Nihlgård, 2018).

Una de las consecuencias ambientales de la contaminación del aire es la deposición ácida lluvia, en palabras simples, esta lluvia es una forma de precipitación (por ejemplo, nieve, niebla, aguanieve, materiales secos o lluvia), que contiene una alta concentración de sustancias formadoras de ácido como SO_2 y NO_x que se ha liberado a la atmósfera, en el aire, estos dos compuestos químicos reaccionan con

las moléculas de agua o se mezclan con el polvo formando la lluvia ácida que cae como una deposición seca o húmeda (EPA, 2017).

El efecto resultante de estos procesos es la contaminación ambiental, cae la lluvia ácida puede causar efectos perjudiciales para el ecosistema, los edificios y las artes del patrimonio cultural, especialmente los construidos con piedra caliza, también se ven afectados por la lluvia ácida; las deposiciones ácidas pueden dañar la pintura, corroer y acelerar el deterioro de los artefactos (Ahmad-Siddiqi y Al-Farsi, 2019), prominente en la industria del petróleo y el gas es la corrosión es la precipitación ácida, una variedad de factores ecológicos, químicos, físicos y humanos determinan si un ecosistema puede estar dispuesto a deposición ácida o no, es un término usado para describir varias formas en que los ácidos y sus sales caen de la atmósfera, se propone un número de industrias y una rápida diversificación de tecnologías para conducir a una mayor emisión de contaminantes atmosféricos, el gran y creciente número de industrias y una rápida diversificación de tecnologías se proponen para conducir a una mayor emisión de contaminantes atmosféricos, los efectos en la salud de la exposición a la contaminación del aire se han convertido en un área importante de creciente preocupación en los últimos 40 años, los contaminantes del aire ambiental también varían en la naturaleza (por ejemplo, CO₂, SO₂ y partículas) y los posibles efectos en la salud, uno de los efectos directos de la contaminación atmosférica es la precipitación ácida, un fenómeno que está cobrando interés mundial porque afecta a los ecosistemas terrestres y acuáticos con implicaciones para la salud pública (Nduka y Orisakwe, 2010). Por lo tanto, nuestra buena salud depende de tener suficiente ozono en la estratosfera y la menor cantidad posible de ozono en la troposfera, las pequeñas cantidades de ozono que se forman en la troposfera como un componente del smog urbano dañan las plantas y el sistema respiratorio de las personas (Kabashi *et al.*, 2012). Y también tener en cuenta que grandes volúmenes de los derrames son hidrocarburos volátiles que escapan a la atmósfera en segundos para sufrir oxidación química (Nduka y Orisakwe, 2010).

3.6 Formación de lluvia acida por aerosoles.

La formación de lluvia, en realidad se produce suficiente mezcla en la atmósfera donde por los componentes solubles de estos suelos; aerosoles derivados, disueltos en la columna de nubes, que influyen en el pH del agua de lluvia, los otros observadores tomaron una observación aeroplano y notaron que la lluvia que cayó inmediatamente saliendo de las nubes posee un pH relativamente bajo, cada una de las gotas de nube se forma sobre un aerosol sólido, gotitas en las nubes es la misma que la de los aerosoles sólidos en ese momento en la atmósfera; por lo que el número de aerosoles sólidos y sus características físico-químicas tienen diferentes impactos sobre el clima, vientos prevalecientes abajo los compuestos causan la deposición ácida húmeda y seca a lo largo de cientos de millas, también la luz solar aumenta la tasa de estas reacciones a través de la fotólisis y mejora las posibilidades de lluvia ácida moderada, la lluvia ácida ocurre o no en una determinada área, se mide con los valores de pH de las muestras de aire y agua (Shahid *et al.*, 2013).

Lluvia ácida es el término más familiar para la deposición ácida, que también incluye niebla ácida, aguanieve ácida y nieve ácida, la lluvia ácida ocurre cuando los óxidos de azufre (SO_2 y SO_3) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) se transforman en la atmósfera y regresan a la tierra en forma de depósito seco o en lluvia, niebla o nieve (Speight, 2017).

3.7 Comportamiento del pH de la lluvia acida sobre el suelo.

Las principales fuentes de contaminación por Pb incluyen su liberación de las industrias químicas, petroquímicas y metalúrgicas, de la pintura a base de Pb, las emisiones de petróleo con plomo, Incineradores de desechos, operaciones de minería y fundición (Dua *et al.*, 2014a).

Por ejemplo, el reciente crecimiento económico y la rápida urbanización en China y otros países en desarrollo han resultado en la contaminación de los suelos en las zonas industriales con altas cantidades de metales pesados, incluyendo Pb, cuando los suelos estabilizados de cemento están expuestos a la lluvia los iones hidrógeno (H^+) contenidos en la lluvia ácida reaccionarán fácilmente con los productos de hidratación del cemento como la portlandita mineral de óxidos ($Ca(OH)_2$) y silicato de calcio hidratado (CSH) formado en la matriz del suelo, una disminución en el pH del suelo y la disolución gradual de $Ca(OH)_2$ / CSH. (Dua *et al.*, 2012).

Por consiguiente, la lixiviación de metales pesados de los suelos estabilizados por cemento aumentaría notablemente, sin embargo, los estudios sobre los impactos de la lluvia ácida sobre las propiedades de lixiviación y difusión de los metales pesados son muy limitados, además, la relación entre las concentraciones de Ca y metales pesados no se ha cuantificado (Dua *et al.*, 2014b).

Se investiga la influencia de diversos factores, como el pH de la lluvia ácida, la concentración de Pb y el contenido de cemento, sobre las características de lixiviación del suelo, por desgracia, pocas investigaciones se han centrado en los efectos de la lluvia ácida en suelo de emisión de CO_2 en el bosque; particularmente deficiente, a nuestro entender, es el largo plazo las mediciones in situ (Chen *et al.*, 2012).

Con los continuos efectos de la lluvia ácida, la acidificación del suelo se ha convertido en una consecuencia indiscutible, como el valor de pH del suelo disminuye gradualmente, sin embargo el impacto de la deposición de la lluvia ácida elevado en el secuestro de carbono en los suelos forestales todavía no se entiende bien (Wu *et al.*, 2015).

Aunque la lluvia ácida y las emisiones de SO₂ y NO_x se han algunos países desarrollados, los países en desarrollo, como China, sufren a partir de una deposición ácida considerable (Whittinghill *et al.*, 2012).

3.8 Efecto de la lluvia ácida simulada sobre la función de la comunidad microbiana del suelo.

La lluvia ácida es una lluvia o cualquier otra forma de precipitación que sea inusualmente ácido, puede tener efectos nocivos en las plantas, los animales acuáticos y la infraestructura mediante el deposición húmeda se sabe que la deposición de ácido afecta las propiedades químicas del suelo y causa disminuciones en la fertilidad del suelo (Jalali y Naderi, 2012).

Esto se debe principalmente a la pérdida de cationes base (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) por lixiviación con SO₄²⁻ y NO₃⁻ como los aniones acompañantes y una disminución del pH del suelo, causando así concentraciones potencialmente tóxicas de Al³⁺ y metales pesados en la solución del suelo (Dua *et al.*, 2012).

La lluvia ácida a la corrosión de las estructuras al aire libre hechos con aleaciones de Zn-Al lugar de los componentes de bronce ha convertido recientemente en un problema (Yang *et al.*, 2012).

El material orgánico depositado sobre o en el suelo se descompone y mineraliza principalmente a través de las actividades de microorganismos y animales del suelo, por lo tanto, los microorganismos del suelo un papel clave en el mantenimiento de la fertilidad de los hábitats terrestres, y que los factores que alteran las tasas de los procesos microbianos el suelo puede influir en las funciones de los ecosistemas forestales, como el secuestro de carbono (Lin *et al.*, 2014).

3.9 Lixiviación de los metales pesados en los suelos por la simulación de la Lluvia Acida.

La lluvia ácida se encuentra comúnmente en el sureste de China es ahora un serio problema de contaminación ambiental, al mismo tiempo, la caída de pH conducirá a aumentar en la solubilidad y la lixiviación de metales pesados solidificado, lo que resulta en un problema ambiental indeseable (Dua *et al.*, 2012).

El suelo urbano es un componente dominante en los sistemas ecológicos y actúa como fuente y sumidero de contaminantes (Lu *et al.*, 2011).

La lluvia ácida tiene un efecto severo sobre el comportamiento de los metales pesados en el suelo, debido principalmente al intercambio de cationes mayores en el suelo (por ejemplo, H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , y NH_4^+) acompañado por deposición ácida (Weng *et al.*, 2013).

La lluvia ácida que cae sobre la tierra puede aumentar la liberación de metales pesados de los suelos, contaminando las aguas subterráneas y el deterioro de los ecosistemas terrestres y acuáticos (Ding *et al.*, 2011).

En consecuencia, las condiciones de lluvia ácida desarrollados en una atmósfera contaminada conducen al deterioro de los metales y aleaciones sometidas a tales ambientes, el área afectada por el ácido grave se estima que la deposición exceda de un millón de km^2 , lo que representa alrededor del 40% del área territorial de China, en China, hay áreas contaminadas: China Central, Suroeste de China y el este de China. (Gerengi *et al.*, 2016).

Para la adsorción de metales pesados, los factores más concentrados incluyen el tamaño de partícula óxidos de Fe / Al / Mn, minerales, metales pesados especies, propiedades superficiales del portador de carga, etc, (Gunawardana *et al.*, 2014).

Guangzhou es la ciudad más grande del sur de China, con alrededor del 80% de población total (14 millones a partir de 2013) que viven en el área urbana, con el rápido desarrollo de la urbanización y la industrialización, Guangzhou ha sufrido graves contaminaciones por lluvias ácidas y gran contaminación metálica del suelo, no son comunes los efectos de la lluvia ácida sobre los metales pesados y de las especies de movilidad basadas en suelo urbano contaminado de manera natural, efectos de la lluvia ácida sobre la movilidad y especiación de metales pesados a partir de suelos urbanos naturalmente contaminados rara vez se han reportado (Li *et al.*, 2015).

Los estudios anteriores mostraron que el aumento de la acidez promueve la desorción de los metales pesados, mientras que pocos estudios se han centrado en el pH, especialmente bajo condiciones dinámicas de fuerte lluvia ácida, el efecto sobre la desorción de metales pesados de la RDS (sedimentos depositados en carretera siglas en inglés) (Bo *et al.*, 2015).

3.10 Efecto de simulación de la Lluvia acida en las plantas.

La lluvia acida es un problema hoy en la actualidad se ha convertido en uno de los 10 principales problemas ambientales globales, causando un crecimiento más lento, lesiones u otros impactos negativos en los ecosistemas forestales, las propiedades físico-químicas y la química de la precipitación bajo la influencia de la contaminación atmosférica es uno de los elementos clave que afectan la degradación moderna del medio ambiente natural (Józwiak *et al.*, 2013).

Los efectos de la lluvia ácida en las plantas pueden determinarse a varios niveles, particularmente a partir de los cambios en las condiciones bioquímicas y fisiológicas a través de los órganos y la respuesta de la planta entera, incluyendo los síntomas visibles de lesión y otros efectos como la reducción de la fotosíntesis y las variaciones en actividades enzimáticas (Ling *et al.*, 2010).

Muchos estudios han informado de que el aumento de la el CO₂ y la lluvia ácida han afectado considerablemente a las plantas terrestres (Wang *et al.*, 2013). Mientras que la lluvia ácida puede dañar directamente las hojas más altas de las plantas, dando lugar a necrosis y clorosis (Kováčik *et al.*, 2011).

Los procesos bioquímicos pueden ser significativamente detectado antes de los cambios en el crecimiento y el rendimiento, ya que este último sólo se hace evidente después de las plantas se exponen a períodos relativamente largos de lluvia ácida (Aksoy *et al.*, 2012).

La precipitación ácida puede resultar en síntomas visibles de toxicidad en las plantas, incluyendo mancha clorótica y mancha necrótica en hojas (Tong y Zhang, 2014a).

La lluvia ácida es una de las más graves emergentes por la contaminación del aire (Chen *et al.*, 2013a).

La lluvia ácida también provoca otros efectos negativos, como inhibir la fotosíntesis, eliminar los elementos nutritivos, interrumpir el equilibrio hídrico y reducir las actividades enzimáticas (Mohamad-Zabawi *et al.*, 2008).

Otras plantas dependen de la lluvia ácida para adquirir nutrientes; por lo tanto este sistema es complejo y dinámico, La lluvia ácida provoca la acidificación del suelo, lo que aumenta el intercambio entre los iones hidrógeno y los cationes nutrientes como el potasio (K) y el calcio (Ca) en las plantas (Tong y Zhang, 2014a).

Como resultado, la lluvia ácida provoca un efecto bilateral en los árboles (Deng. Shihuai *et al.*, 2012).

Acidez de la lluvia, la lluvia con un pH <3,0 puede causar daños a los árboles (Wootton-Beard *et al.*, 2011). La región forestal y agrícola del sur de China recibe precipitación ácida con un pH medio ponderado anual de 3.6 sin embargo, el pH varía con tiempo (Zheng *et al.*, 2012).

Dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x), que se derivan de la combustión de combustibles fósiles y las emisiones de tráfico, son dos componentes principales de la contaminación del aire, en el aire, estos dos contaminantes producen H₂SO₄ y HNO₃ por reacciones fotoquímicas complejas, las proporciones relativas de estos dos ácidos principales en la lluvia ácida son diferentes en varias regiones del mundo (Chen *et al.*, 2013b).

Efecto de la contaminación combinada de iones de lantano (La³⁺) y ácido lluvia en plántulas de soja, y discutió los mecanismos de efecto desde la visión de la fotosíntesis en las hojas (Zhang *et al.*, 2016).

La inducción de estrés afecta el comportamiento fisiológico de las plantas, dando lugar a diferencias en la reflectancia patrones y proporcionando así un potencial para la detección remota índice de vegetación diagnóstico de la vegetación estrés (Jin *et al.*, 2014).

Las raíces de las plantas absorben los nutrientes y la humedad del suelo, y las raíces directamente contacto con el suelo que es el compartimento importante de la contaminación de los extraños elementos de la tierras y lluvia ácida (Wang *et al.*, 2014a).

3.11 Disminución de las especies de macro algas causado por agua de mar de bajo pH inducida por la lluvia acida.

Desde la revolución industrial, la combustión humana de combustibles fósiles ha impulsado significativamente el rápido aumento del CO₂ atmosférico, cuyos niveles han aumentado notablemente de aproximadamente 280 partes por millón (p.p.m.) a casi 400 p.p.m. en 2013 (Myers *et al.*, 2014).

Además, la combustión de combustibles fósiles ha liberado una enorme cantidad de dióxido de azufre y óxido de nitrógeno, que puede reaccionar con las moléculas de agua en la atmósfera para producir lluvia ácida (Gao *et al.*, 2016).

Durante las últimas décadas, el desvanecimiento del dosel superior causado por la lluvia ácida, que puede ser muy ácido, con valores de pH de ~ 4 ha ocurrido ampliamente en el sur de China, lo que ha exacerbado la disminución de la superficie forestal (Liu *et al.*, 2011).

Por otra parte, algunos estudios han informado de las respuestas incluyendo la fotosíntesis, el crecimiento y la biomasa de varios macro-algas marinas a la acidificación de los océanos (Chen *et al.*, 2014).

Como ya se ha mencionado, la lluvia ácida es un serio problema ambiental mundial, por lo tanto, durante la exposición al aire durante la marea baja, las macro algas intermareales, son frecuentemente y directamente sometidos a un estrés de lluvia ácida que a menudo dura varias horas y es muy ácido con valores de pH de 3,24 a 6,56 (Zheng, 2012) y todo esto es cuestión del este fenómeno en la zona intertidal está relacionado con el aumento de CO₂ atmosférico y la lluvia ácida (Gao *et al.*, 2016).

3.12 El efecto de la intensidad de la lluvia en la eliminación de iones, cambio de aniones y cationes bajo la influencia de lluvia ácida.

La lluvia ácida resulta en la acidificación del suelo, lo que aumenta el intercambio entre el ion hidrógeno H^+ y los cationes nutrientes como el potasio (K), el magnesio (Mg) y el calcio (Ca) en el suelo. Estos cationes se liberan en el suelo y pueden ser rápidamente lixiviados en la solución del suelo junto con el sulfato de la entrada de ácido. Ahora, el suelo no puede neutralizar completamente la acidez del agua de lluvia, que varía de un lugar a otro, la lixiviación inducida por ácido conduce a una deficiencia de nutrientes en los suelos afectados y esta pérdida de fertilidad del suelo resulta en una disminución en el crecimiento de plantas incluyendo árboles en suelo acidificado, el ciclo de nutrientes y la velocidad de descomposición también se ven afectados negativamente por la acidificación del suelo, en condiciones naturales, la precipitación atmosférica es ligeramente ácida debido a la disolución del dióxido de carbono atmosférico, lluvia que presenta una concentración de iones H^+ mayores de $2,5 \mu\text{eq}^{-1}$ y valores de pH inferiores a 5,6 se considera ácido (Odiyi y Bamidele, 2014).

La dinámica de barrido de iones en la química de la lluvia revelarán los mecanismos importantes para el destino y transporte de material no solo particulado, sino de nutrientes y finalmente, el fenómeno de la lluvia ácida, durante las últimas décadas, el crecimiento de la población y la expansión industrial han aumentado la emisión de aerosoles, compuestos de azufre y nitrógeno, que degradan la calidad del aire y aumentan los riesgos para la salud humana, los problemas de salud pública exposición a la alta densidad urbana forzada por las laderas de las áreas limitadas para el desarrollo (González y Aristizábal, 2012).

3.13 Reducción de emisiones de los gases a la atmosfera para la disminución de la lluvia acida.

La deposición ácida en algunas zonas del mundo ha recibido un interés creciente en el aumento de las emisiones de SO₂ y NO_x (Huape-Padilla *et al.*, 2018).

Acompañando el extenso patrón de desarrollo económico de alta contaminación, alto consumo de energía y baja eficiencia, la contaminación del aire se convierte gradualmente en un tema crítico para restringir el desarrollo sostenible y la construcción de civilizaciones ecológicas (Chen *et al.*, 2013c). La contaminación del aire ha tenido profundos efectos en la salud de todo el planeta, el aumento de la población humana con la disminución del medio ambiente verde ha producido la contaminación ambiental atmosférica (Patel y Nirmal-Kumar, 2018).

La manera de controlar eficazmente la descarga de contaminantes atmosféricos y mejorar la calidad del aire ambiente urbano ha demostrado ser un objetivo importante del desarrollo de la transformación social y económica (Wang *et al.*, 2014b).

Como un contaminante clave de la contaminación compuesta en la atmósfera, el NO_x tiene una serie de influencias complicadas en las reacciones químicas de la atmósfera en la troposfera (Melkonyan y Wagner, 2013). Podría llevar a fenómenos adversos como el smog fotoquímico en verano, el aumento de los niveles de ozono troposférico en zonas urbanas, la deposición de ácidos, la formación de aerosoles de nitrato y un importante oxidante para la formación de sulfatos (Cheng *et al.*, 2016).

Las fuentes de emisión se pueden dividir en dos tipos: formación natural y antropogénica (Finney *et al.*, 2016). Las emisiones antropogénicas son la mayor contribución a la fuente de NO_x, que incluye principalmente los gases residuales generados en la quema de varios combustibles fósiles y la producción de explosivos, colorantes, ácido nítrico y fertilizante nitrogenado, etc (Cui *et al.*, 2013).

Con lo anterior, ahora se prestan a más atención a la ingeniería y la tecnología en el campo de la reducción de emisiones de NO_x, como la reducción de las emisiones de NO_x de los motores alimentados con biodiesel (Li *et al.*, 2016). Reducción de NO_x en incineradores de desechos por reducción catalítica selectiva, disminuyendo NO_x de motor diésel marino de dos tiempos (Raptotasios *et al.*, 2015). Si bien estos estudios nos ayudan a comprender la reducción de las emisiones de NO_x, se basan en una perspectiva de ciencia natural y técnica, y en la falta de fuerzas económicas y sociales, mientras tanto, las diferencias regionales en las emisiones de NO_x no recibieron la atención adecuada, y pocos estudios anteriores buscaron identificar los factores precedentes de las emisiones de NO_x y cómo resolver su dilema de reducción en los países en desarrollo (Lei *et al.*, 2017).

4.0 Conclusiones.

Respecto a la lluvia acida es un problema fuerte y que conforme pasen los años, décadas, puede ser un problema aun mayor y grave para las futuras generaciones ya que las emisiones a la atmósfera, siguen contaminando. A demás se debe sumar la creación de nuevas industrias y refinerías en todo el mundo, aumentando las emisiones.

Debemos tener en cuenta que las grandes potencias como Estados Unidos, China y Rusia siguen apostando a los combustibles fósiles, esto va durar por lo menos un siglo más.

Hoy por hoy el petróleo es el máximo y único recurso energético que existe. una ventaja de hoy, es que, en la actualidad tenemos más conciencia ecológica y para futuro tendremos que sustituir al petróleo con un elemento importante mejor conocido como oro blanco, el litio, con este se podrán fabricar autos eléctricos con mecanismos para no contaminar.

También se tiene, la energía solar, nuestro país es muy rico en energía solar por los desiertos y por los largos días que hay en nuestro país, esto es gracias a la ubicación que tenemos en el planeta.

4.1 Recomendaciones

La sociedad, lo que le toca hacer, es dejar de usar los automóviles, específicamente aquellos autos que consumen combustibles fósiles, se debe mejorar el transporte público, con la finalidad de reducir las emisiones a la atmósfera, provenientes de los escapes, por lo que se deben de implementar, que estos mismos vehículos cuenten algún sistema que reduzca las emisiones contaminantes y en algunas ciudades de nuestro país, se aplican programas que ayuden a la disminución de las emisiones, principalmente de SO₂, como los el programa “hoy no circula”, que ayuda a una mejor manera de empezar como sociedad, a disminuir las emisiones de contaminantes a la atmosfera.

5.- Bibliografía citada.

- Ahmad-Siddiqi, S. y B. Al-Farsi 2019. "The Contribution of Greenhouse Gas Emissions on Future Acid Rain in States of Gulf Cooperation Council: Measures to Adopt." *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 7: 82-92.
- Aksoy , Ö., T. Erbulucu, S. Öner y T. İdil Burcu 2012. "PHYTOTOXIC AND GENOTOXIC EFFECTS OF WATER SAMPLES TAKEN FROM THE EASTERN CHANNEL OF KOCAELI ON VICIA FABIA AND ZEA MAYS " *Fresenius Environmental Bulletin* 21: 1819-1826.
- Bo, Z., L. An, W. Guangxue, L. Dunzhu y G. Yuntao 2015. "Characterization of heavy metal desorption from road-deposited sediment under acid rain scenarios." *ScienceDirect* 30: 1-10.
- Bravo, A. H., A. R. Soto, E. R. Sosa, A. P. Sánchez, J. A. L. Alarcón, J. Kahl y B. J. Ruíz 2006. "Effect of acid rain on building material of the El Tajín archaeological zone in Veracruz, Mexico." *Environmental Pollution* 144: 665-660.
- Contreras, V. y I. Salas 2012. "Contaminación ambiental del aire en Buenos Aires, Argentina." *REVISTA INTERAMERICANA DE AMBIENTE Y TURISMO*. 8: 34-41.
- COOPERATION., J. I. 1990. "Osaka city's Air Pollution- control measures. ." *Environment División*.
- Cowling, E. B. 1982. "Acid precipitation in historical perspective." *Environmental Science & Technology*. 16: 110-123.
- Cui, S. H., Y. L. Shi, P. M. Groffman, W. H. Schlesinger y Y. G. Zhu 2013. "Centennial-scale analysis of the creation and fate of reactive nitrogen in China." *Proceedings of the National Academy of Sciences U. S. A.* 110: 2052-2057.
- Chen, J., W.-H. Wang, T.-W. Liu, F.-H. Wu y H.-L. Zheng 2013a. "Photosynthetic and antioxidant responses of Liquidambar formosana and Schima superba seedlings to sulfuric-rich and nitric-rich simulated acid rain." *Plant Physiology and Biochemistry* 64: 41-51.
- Chen, J., W.-H. Wang, T.-W. Liu, F.-H. Wu y H.-L. Zheng 2013b. "Photosynthetic and antioxidant responses of Liquidambar formosana and Schima superba seedlings to sulfuric-rich and nitric-rich simulated acid rain." *Plant Physiology and Biochemistry* 64: 41-51.
- Chen, R. J., X. Wang, X. Meng, H. Jing, Z. J. Zhou, B. H. Chen y H. D. Kan 2013c. "Communicating air pollution-related health risks to the public: an application of the air quality health index in Shanghai." *China Environ* 51: 168-173.
- Chen, S., X. Shen, Z. Hu, H. Chen, Y. Shi y Y. Liu 2012. "Effects of simulated acid rain on soil CO₂ emission in a secondary forest in subtropical China." *Geoderma* 189-190: 67-71.
- Chen, S., J. Beardall y K. Gao 2014. "A red tide alga grown under ocean acidification upregulates its tolerance to lower pH by increasing its photophysiological functions." *Biogeosciences* 11: 4829–4838.

- Cheng, Y., G. Zheng, C. Wei, Q. Mu, B. Zheng, Z. Wang y U. Poschl 2016. "Reactive nitrogen chemistry in aerosol water as a source of sulfate during haze events in China." *Science Advance* 2: e1601530.
- de la Cruz, M. T. y M. A. Crespo 2000. "Influencia de la lluvia acida sobre las propiedades del suelo y el desarrollo vegetal." *Ecología* 14: 7-15.
- Deng, Shihuai, S. Gou, B. Sun, W. Lv, Y. Li, H. Peng, X. Hong., G. Yang y Y. Wang 2012. "Modeled Dosage–Response Relationship on the Net Photosynthetic Rate for the Sensitivity to Acid Rain of 21 Plant Species." *Bull Environ Contam Toxicol* 89: 251-256.
- Ding, Z., Q. Wang y X. Hu 2011. "Fractionation of Zn and Pb in bulk soil and size fractions of water-stable micro-aggregates of lead/zinc tailing soil under simulated acid rain " *Procedia Environmental Sciences* 10: 325-330.
- Dua, Y.-J., N.-J. Jiang, S.-L. Shen y F. Jin 2012. "Experimental investigation of influence of acid rain on leaching and hydraulic characteristics of cement-based solidified/stabilized lead contaminated clay." *Journal of Hazardous Materials*. 225-226: 195-201.
- Dua, Y.-J., M.-L. Wei , K. R. Reddy, L. Zhao-Peng. y F. Jin 2014a. "Effect of acid rain pH on leaching behavior of cement stabilized lead-contaminated soil." *Journal of Hazardous Materials* 271: 131–140.
- Dua, Y. J., M. L. Wei, K. R. Reddy, Z. P. Liu y J. Fei 2014b. "Effect of acid rain pH on leaching behavior of cement stabilized lead-contaminated soil." *Journal of Hazardous Materials* 271: 131-140.
- EPA, U. 2017. "Acid Rain." EPA: <https://www.epa.gov/acidrain> (fecha consultada 2/Sep/2019).
- Fan, Y. F., Z. Q. Hu y H. Y. Luan 2012. "Deterioration of tensile behavior of concrete exposed to artificial acid rain environment." *Interaction and Multiscale Mechanics* 5: 41-56.
- Fang, C., D. Wang, S. Wang, S. Zhang, Z. Qu y J. Wang 2013. "Study on Effects of Different Types of Acid Rain on Nutritional Quality of Pakchoi " *Advanced Materials Research* 634-638: 122-125.
- Finney, D. L., R. M. Doherty, O. Wild, P. J. Young y A. Butler 2016. "Response of lightning NOx emissions and ozone production to climate change: insights from the atmospheric chemistry and climate model intercomparison project." *Journal of Geophysical Research* 43: 5492-5500.
- Gao, S., Q. Sun, Y. Tao, X. Wang, W. Li, L. Huan, M. Wu y G. Wang 2016. "A decline in macro-algae species resulting in the overwhelming prevalence of Corallina species is caused by low-pH seawater induced by short-term acid rain." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 475: 144-153.
- Garcés, L. F. y M. L. Hernández 2004. "La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local." *Revista Lasallista de Investigación* 1: 67-72.
- Gerengi, H., G. Bereket y M. Kurtay 2016. "A morphological and electrochemical comparison of the corrosion process of aluminum alloys under simulated acid rain conditions." *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 58: 508-516.
- González, C. M. y B. H. Aristizábal 2012. "Acid rain and particulate matter dynamics in a mid-sized Andean city: The effect of rain intensity on ion scavenging." *Atmospheric Environment* 60: 164-171.

- Gunawardana, C., P. Egodawatta y A. Goonetilleke 2014. "Role of particle size and composition in metal adsorption by solids deposited on urban road surfaces." *Environmental Pollution* 184: 44-53.
- Hilmi, I. M., K. Susilawati, O. H. Ahmed y N. Majid 2013. "Effects of simulated acid rain on *Shorea macropteragrowth* and selected soil chemical properties." *Academic Journals* 8: 1280-1289.
- Huape-Padilla, E., A. Medina-Flores, C. Aguilar-Ramírez, I. Alfonso-López y L. Béjar-Gómez 2018. "Electrochemical corrosion characterization of nickel aluminides in acid rain." *REVISTA MATERIA* 23: 1-10.
- Jalali, M. y E. Naderi 2012. "The impact of acid rain on phosphorus leaching from a sandy loam calcareous soil of western Iran." *Environ Earth Sci* 66: 311-317.
- Jin, J., H. Jiang, C. Hou, X. Zhang y Y. Wang 2014. "Monitoring responses of Mason Pine to acid rain in China based on remote sensing vegetation index." *Earth and Environmental Science* 17: 1-4.
- Jóźwiak, M. A., R. Kozłowski y M. Jóźwiak 2013. "Effects of Acid Rain Stemflow of Beech Tree (*Fagus sylvatica* L.) on Macro-Pedofauna Species Composition at the Trunk Base " *Pol. J. Environ* 22: 149-157.
- Kabashi, S., S. Bekteshi, S. Ahmetaj, G. Kabashi, K. Podrimqaku, V. Veliu, A. Jonuzaj y A. Zidanšek 2012. "Dynamic Modeling of Air Pollution and Acid Rain from Energy System and Transport in Kosovo." *Open Journal of Air Pollution* 1: 82-96.
- Kováčik, J., B. Klejdus, M. Bačkor, F. Štork y J. Hedbavny 2011. "Physiological responses of root-less epiphytic plants to acid rain." *Ecotoxicology* 20: 348–357.
- Larssen, T., E. Lydersen, D. Tang, Y. He, J. Gao, H. Liu, L. Duan, M. Seip Hans, D. Vogt Rolf, J. Mulder, M. Shao, Y. Wang, H. Shang, X. Zhang, S. Solberg, W. Aas, T. Okland, O. Eilertsen, V. Angell, Q. Li, D. Zhao, R. Xiang, J. Xiao y J. Luo 2006. "ACID RAIN in China." *Environmental Science & Technology* 40: 418-425.
- Lei, D., L. Chao, C. Kunlun, H. Yalin y D. Beidi 2017. "Atmospheric pollution reduction effect and regional predicament: An empirical analysis based on the Chinese provincial NO_x emissions." *Journal of Environmental Management* 196: 178-187.
- Leng, P., Y. Wang, Y. Wang, W. Kai, B. Zhao, P. Chen, L. Sun, K. Ji, Q. Li, S. Dai, Y. Sun, Y. Wang y Y. Pei 2014. "Transcriptional regulation of abscisic acid signal core components during cucumber seed germination and under Cu²⁺, Zn²⁺, NaCl and simulated acid rain stresses " *Plant Physiology and Biochemistry* 76: 67-76.
- Lewis, W. M. y M. C. Grant 1980. "Acid precipitation in the Westem United States." *Science* 207.
- Li, J., C. Jia, Y. Lu, S. Tang y H. Shim 2015. "Multivariate analysis of heavy metal leaching from urban soils following simulated acid rain." *Microchemical Journal* 122: 89-95.
- Li, N., G. Lu, X. L. Li y Y. Yan 2016. "Prediction of NO_x emissions from a biomass fired combustion process based on flame radical imaging and deep learning techniques." *Combustion Science and Technology* 188: 233-246.

- Likens, E. E. y F. H. Bormann 1974. "Acid rain: a serious regional environmental problem " *Science*. 184: 1176-1179.
- Lin, W., C. Zhan, S. He, W. Jing y P.-Y. Zhang 2014. "Impact of simulated acid rain on soil microbial community function in Masson pine seedlings." *Electronic Journal of Biotechnology* 17: 199-203.
- Ling , D.-J., Q.-C. Huang y Y. Ouyang 2010. "Impacts of simulated acid rain on soil enzyme activities in a latosol." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73: 1914-1918.
- Lisjestrang, H. M. y J. J. Morgan 1978. "Chemical composition of acid precipitation in Pasadena." *Environmental Science and Technology* 12: 1271–1273.
- Liu, T., X. Jiang, W. Shi, J. Chen, Z. Pei y H. Zheng 2011. "Comparative proteomic analysis of differentially expressed proteins in β -aminobutyric acid enhanced *Arabidopsis thaliana* tolerance to simulated acid rain." *Proteomics* 11: 2079–2094.
- Lu, Y., W. Yin, L. Huang, G. Zhang y Y. Zhao 2011. "Assessment of bioaccessibility and exposure risk of arsenic and lead in urban soils of Guangzhou City, China." *Environ Geochem Health* 33: 93-102.
- Melkonyan, A. y P. Wagner 2013. "Ozone and its projection in regard to climate change." *Atmospheric Environment* 67: 287-295.
- Mohamad-Zabawi, A. G., S. Moh-Esa y C. P. Leon 2008. "Effects of simulated acid rain on germination and growth of rice plant." *Journal of Tropical Agriculture and Food Science* 36: 1-6.
- Myers, S. S., A. Zanobetti, I. Kloog, P. Huybers, A. D. B. Leakey, A. J. Bloom, E. Carlisle, L. H. Dietterich, G. Fitzgerald, T. Hasegawa, N. M. Holbrook, R. L. Nelson, M. J. Ottman, V. Raboy, H. Sakai, K. A. Sartor, J. Schwartz y S. Seneweera 2014. "Increasing CO₂ threatens human nutrition." *Nature (London)* 510: 139-142.
- Nduka, J. K. y O. E. Orisakwe 2010. "Precipitation Chemistry on Occurrence of acid Rain over the Oil Producing Niger Delta Region of Nigeria." *The Scientific World Journal* 10: 528-534.
- Oden, S. 1976. "The acidity problem — An outline of concepts." *Water, Air, and Soil Pollution* 6: 138-166.
- Odiyi, B. O. y J. F. Bamidele 2014. "Effects of Simulated Acid Rain on Growth and Yield of Cassava *Manihot esculenta* (Crantz) " *Journal of Agricultural Science* 6: 96-101.
- Osu, S. R. y M. O. Ekpo 2013. "Acid Rain and Environmental Problems: Implications for the Teaching of Biology in Schools in Riverine Communities." *Academic Journal of Interdisciplinary Studies* 2: 101-108.
- Patel, D. y J. I. Nirmal-Kumar 2018. "An Evaluation of Air Pollution Tolerance Index and Anticipated Performance Index of Some Tree Species Considered for Green Belt Development: A Case Study of Nandesari Industrial Area, Vadodara, Gujarat, India." *Open Journal of Air Pollution* 7: 1-13.
- Raptotasios, S. I., N. F. Sakellaris, R. G. Papagiannakis y D. T. Hountalas 2015. "Application of a multi-zone combustion model to investigate the NO_x reduction potential of two-stroke marine diesel engines using EGR." *Applied Energy* 157: 814-823.

- Rosborg, I. y B. Nihlgård 2018. "Health Consequences of Acid Rain in South West Sweden." *Journal of Geoscience and Environment Protection* 6: 126 - 142.
- Shahid, M. A. K., M. S. Awan, K. Hussain y R. Sabir 2013. "Acidic rain probability and solid aerosol concentration in the atmosphere of Faisalabad (Pakistan)." *Peak Journal of Physical and Environmental Science Research* 1: 12-22.
- Shukla, J. B., S. Sundar y R. Naresh 2012. "MODELING AND ANALYSIS OF THE ACID RAIN FORMATION DUE TO PRECIPITATION AND ITS EFFECT ON PLANT SPECIES." *Natural Resource Modeling* 26: 53-65.
- Solórzano-García, B., S. A. Nadler y G. Perez-Ponce de León 2015. "Trypanoxyuris atelis and T. atelophora (Nematoda: Oxyuridae) in wild spider monkeys (Ateles geoffroyi) in tropical rain forest in Mexico: Morphological and molecular evidence." *Parasitology International* 64: 229-235.
- Speight, J. G. 2017. "Rules of Thumb for Petroleum Engineers." *Scrivener Publishing* 1: 13-13.
- Ting-Wu, L., N. Liu, F. Bin, C. Juan, W. Fei-Hua, W. Wen-Hua, H. Wen-Jun, H. Jun-Xian y Z. Hai-Lei 2012. "A transcriptomic study reveals differentially expressed genes and pathways respond to simulated acid rain in Arabidopsis thaliana." *NRC Research Pres* 56: 49-60.
- Tong, S. y L. Zhang 2014a. "Differential Sensitivity of Growth and Net Photosynthetic Rates in Five Tree Species Seedlings under Simulated Acid Rain Stress." *Polish Journal of Environmental Studies* 23: 2259-2264.
- Tong, S. y L. Zhang 2014b. "Differential Sensitivity of Growth and Net Photosynthetic Rates in Five Tree Species Seedlings under Simulated Acid Rain Stress." *Pol. J. Environ.* 23: 2259-2264.
- W. Berger, T., S. Türtcher, P. Berger y L. Lindebner 2016. "A slight recovery of soils from Acid Rain over the last three decades is not reflected in the macro nutrition of beech (*Fagus sylvatica*) at 97 forest stands of the Vienna Woods." *Environmental Pollution* 300: 1-12.
- Wang, L., W. Wang, Q. Zhou y X. Huang 2014a. "Combined effects of lanthanum (III) chloride and acid rain on photosynthetic parameters in rice." *Chemosphere* 112: 355-361.
- Wang, S. X., J. Xing, B. Zhao, C. Jang y J. M. Hao 2014b. "Effectiveness of national air pollution control policies on the air quality in metropolitan areas of China." *J. Environ* 26: 13-23.
- Wang, X., Z. Liu, L. Niu y B. Fu 2013. "Long-term effects of simulated acid rain stress on a staple forest plant, *Pinus massoniana* Lamb: a proteomic analysis." *Trees* 27: 297-309.
- Weng, F., H. Hou, N. Yao, Z. Yan, L. Bai y F. Li 2013. "Effects of simulated acid rain, EDTA, or their combination, on migration and chemical fraction distribution of extraneous metals in Ferrosol." *Chemosphere* 90: 349-357.
- Whittinghill, K. A., W. S. Currie, D. R. Zak, A. J. Burton y K. S. Pregitzer 2012. "Anthropogenic N Deposition Increases Soil C Storage by Decreasing the Extent of Litter Decay: Analysis of Field Observations with an Ecosystem Model." *Ecosystems* 15: 450-461.
- Wondyfraw, M. 2014. "Mechanisms and Effects of Acid Rain on Environment." *Earth Science & Climatic Change* 5: 1-3.

- Wootton-Beard, P. C., A. Moran y L. Ryan 2011. "Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin–Ciocalteu methods." *Food Research International* 44.
- Wu, J., G. Liang, D. Hui, Q. Deng, X. Xiong, Q. Qingyan., J. Liu, G. Chu, G. Zhou y D. Zhang 2015. "Prolonged acid rain facilitates soil organic carbon accumulation in a mature forest in Southern China." *Science of the Total Environment* 544: 94-102.
- Xuejun., L., D. Lei., J. Mo, E. Du, J. Shen, X. Lu, Y. Zhang, X. Zhou, C. He y F. Zhang 2011. "Nitrogen deposition and its ecological impact in China: An overview." *Environmental Pollution* 159: 2251-2264.
- Yadav, R. C. 2013. "Combating Acid Rain: Physically Based Process and Product." *Hydrology Current Research* 4: 2-5.
- Yang, L., Y. Zhang, X. Zeng y Z. Song 2012. "Corrosion behaviour of superplastic Zn–Al alloys in simulated acid rain." *Corrosion Science* 59: 229-237.
- Zhang, J. P., X. M. Zhang y C. J. Zeng 2010. "Studying Advances of Effects of Acid Rain on Acidifying of Ecosystem." *Journal of Agro-Environment Science* 29: 245-249.
- Zhang, X., H. Jiang, J. Jin, X. Xu y Q. Zhang 2012. "Analysis of acid rain patterns in northeastern China using a decision tree method." *Atmospheric Environment* 47: 590-596.
- Zhang, X., L. Wang, A. Zhou, Q. Zhou y X. Huang 2016. "Alterations in cytosol free calcium in horseradish roots simultaneously exposed to lanthanum(III) and acid rain." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 126: 62-10.
- Zhang, Y.-J. y H.-R. Chang 2012. "The impact of acid rain on China's socioeconomic vulnerability." *Springer Science+Business Media B.V.* 64: 1671-1683.
- Zheng, J. H. 2012. "Environmental Bulletin of Wenzhou." *Environmental Bureau of Wenzhou*.
- Zheng, S.-a., X. Zheng y C. Chen 2012. "Leaching Behavior of Heavy Metals and Transformation of Their Speciation in Polluted Soil Receiving Simulated Acid Rain." *Plos One* 7: 1-7.