

Proceso de acidificación de las precipitaciones de Managua

Precipitation acidification process of Managua

Javier Antonio Barberena Moncada¹
javier.barberean@cira.unan.edu.ni

Iris Lisseth Hurtado García²
iris.hurtado@unan.edu.ni

Recibido: 17 de mayo de 2019, **Aceptado:** 03 de septiembre de 2019

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación es determinar el origen del acidez de las precipitaciones que inciden en la ciudad de Managua. Analizando diversos componentes tanto físicos, químicos como movimientos atmosféricos que estarían incidiendo en las características del agua que precipita. Para esto se realizaron monitoreo de cinco estaciones distribuidas en la ciudad, se lograron analizar el pH de 105 eventos de precipitación, y análisis de iones Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , NH_4^- , Fe^{+3} , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- para el mes de octubre 2018. Los valores de pH que predominaron fueron inferiores a 5.6, valor tomado como equilibrio para acidez de agua de lluvia, el carácter ácido predominó en 51% de los eventos, con valor medio de 4.67, máximos de 5.59 y mínimo de 3.13. No hay evidencia que la acidez de las precipitaciones esté influenciada por movimiento atmosférico, como tampoco por la intensidad de los eventos. Los principales iones que predominan son $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$, $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$. Los análisis de correlación de Pearson y análisis de componentes principales nos indican que las lluvias ácidas son fuerte influenciadas por fuentes de contaminación antropogénica relacionadas por la quema de combustibles fósiles. Se concluye que los componentes contaminantes están prevaleciendo sobre los iones con capacidad neutralizante como es Ca^{2+} , así también la presencia del ion SO_4^{2-} indica que es producto de la oxidación de ácidos producto de la flotabilidad de contenidos emitidos por fuentes difusas y puntuales propios de las actividades de las ciudades en todo el mundo.

Palabras claves: lluvia ácida; contaminación atmosférica; tasa de deposición húmeda.

ABSTRACT

The main objective of the research is to determine the acidity origin of the rainfall that impacts the city of Managua. Analyzing various components both physical, chemical and atmospheric movements that would impact in the characteristics of the water that precipitates. For this was carried out monitoring of five stations distributed in the city, the pH of 105 precipitation events, and analysis of Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , NH_4^- , Fe^{+3} , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ions were analyzed for the month of October 2018. The pH values that predominated were less than 5.6, value taken as equilibrium for rainwater acidity, the predominance acid character at 51% of events, with an average value of 4.67, maximums of 5.59 and minimum of 3.13. There is no evidence that the acidity of rainfall is influenced by atmospheric movement, nor by the intensity of events. The main ions that dominate are $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$, $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$. Pearson correlation analyses and major component analyses indicate that acid rains are strongly influenced by sources of anthropogenic contamination related to the burning of fossil fuels. It is concluded that the contaminating components are dominant over the ions with neutralizing capacity such as Ca^{2+} , as well as the presence of the SO_4^{2-} ion- indicates that it is the product of the oxidation of acids product of the buoyancy of conlieutenants emitted by diffuse and timely sources typical of city activities around the world.

Keywords: acid rain; air pollution; humidity deposition rate.

1 Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, CIRA/UNAN-Managua.

2 Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. UNAN-Managua.

© 2019 - Revista Científica de FAREM-Estelí.



Este trabajo está licenciado bajo una [Licencia Internacional Creative Commons 4.0 Atribución-NoComercial-CompartirIgual](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INTRODUCCIÓN

El movimiento del agua entre el aire, mar, lagos, ríos, tierra, glaciares y otros organismos vivos constituye el ciclo hidrológico. El agua es químicamente activa y forma compuestos con mucha facilidad. La parte atmosférica del ciclo inicia cuando ocurre evaporación. Esto sucede desde las superficies de agua abiertas y también de hielo, plantas, suelo y otras superficies humedecidas por las precipitaciones. (Henry y Heinke, 1999).

La composición química de las precipitaciones se debe a procesos que ocurren en el interior y por debajo de las nubes, los cuales involucran numerosas fases físicas que operan a escala micro y macro. La acidez y la concentración de los iones en el agua de lluvia depende del tipo y la potencia de la fuente de sus constituyentes, de su incorporación física en el sistema hidrológico y de la transformación química durante la formación de las nubes y el arrastre por debajo de estas, Seinfeld y Pandis (citado por López, Collado y Hernández, 2015).

Hay muchas fuentes de gases y otras partículas en suspensión que contaminan nuestra atmósfera. A las sustancias que son emitidas directamente a la atmósfera se les llama contaminantes primarios, y contaminantes secundarios a los que se crean a partir de procesos físicos y reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera (Masters y Ela, 2008).

En la atmósfera ocurren ciclos de ácido atmosférico; el dióxido de azufre gaseoso, componente del ciclo del azufre, y los óxidos de nitrógeno, del ciclo del nitrógeno, se combinan en la atmósfera, así como los óxidos de carbono. La lluvia ácida y la nieve ácida se forman cuando estos gases contaminantes, los óxidos de azufre, de nitrógeno y de carbono, se combinan con el agua, teniendo como acelerador de las reacciones a la luz solar. Los óxidos de azufre se convierten en ácidos sulfúricos (H_2SO_4), los óxidos de nitrógeno en ácido nítrico (HNO_3) y el dióxido de carbono en ácido carbónico (H_2CO_3). Parte de esta mezcla, que vuelve a la tierra como finas partículas (sulfatos y nitratos), se conoce como deposición seca. Una porción mayor es transportada lejos de la fuente y la dirección que toma

depende en gran medida de la circulación atmosférica general. Durante su transporte por la atmósfera, el SO_2 y el NO_2 , y sus productos de oxidación, participan en reacciones complejas que incluyen al monóxido de cloro y otros compuestos, además del oxígeno y el vapor de agua. Estas reacciones producen ácidos fuertes, principalmente ácido nítrico y ácido sulfúrico, que se disuelve 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 (Granados, López y Hernández, 2010).

El término lluvia ácida comprende tanto a la precipitación, depósito, deposición, depositación húmeda de sustancias ácidas disueltas en el agua, lluvia, nieve y granizo. El pH es el símbolo que utiliza la química para medir la acidez o alcalinidad de las soluciones. (Garcés y Hernández, 2004).

El agua destilada, la cual no contiene dióxido de carbono tiene un pH neutro de 7. Líquidos con pH menor que 7 son ácidos, y aquellos con pH mayor que 7 son alcalinos. Lluvia limpia o sin contaminante es ligeramente ácida con un pH que oscila entre 5 y 6 (en promedio de 5.6), a causa de que el dióxido de carbono y el agua reaccionan conjuntamente en el aire para formar ácido carbónico, un ácido débil (León, 2000). Master y Ela, (2008) asegura que en Estados Unidos y Canadá consideran lluvias naturales con valores de pH entre 5 y 5.6, y por debajo de estos valores son llamadas lluvias ácidas.

Esta acidificación de es estudiada a mayor detalle por química atmosférica que es una disciplina científica que estudia la composición química de la atmósfera natural y los procesos físico-químicos relacionados: la forma en que los gases, líquidos y sólidos de la atmósfera interactúan entre sí y con la superficie de la Tierra y los ecosistemas asociados, y cómo los humanos las actividades pueden estar cambiando las características químicas y físicas de la atmósfera. Una serie de problemas ambientales críticos se asocian con una atmósfera cambiante, desde el smog fotoquímico, la deposición ácida, los contaminantes tóxicos del aire y el agotamiento del ozono estratosférico, que eran bien conocidos a fines del siglo pasado, hasta la contaminación por neblina y el cambio climático

global. Gran parte del impacto antropogénico en la atmósfera está asociado con nuestro uso creciente de combustibles fósiles y la quema de biomasa como fuente de energía (Jianzhong, Xiaobin, Chunsheng y Peng, 2012).

Sakhiana (citado por López, Collado y Hernández, 2014), para evaluar la acidez de la lluvia es necesario la determinación analítica de los elementos químicos principales que la componen, no solo estudiar la componente acidificante, si no también analizar los elementos responsables de la neutralización, que pueden incluso alcalinizar las precipitaciones. En este sentido, la cantidad de materia alcalina presente desempeña un papel primordial, la cual actúa como un agente neutralizador, en especial los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ .

La lluvia ácida tiene gran efecto corrosivo en la parte urbana de ciudades, como lo enfrentan ciudades como Bogotá, París, México, Barcelona, Berlín, Roma, entre otras. Fachadas corroídas, monumentos deteriorados y arboles muertos, es el resultado de la lluvia ácida, también actúa sobre los ríos y lagos aumentando las concentraciones de gran cantidad de ácidos que destruyen la fauna acuática (León, 2000). Los daños de la lluvia ácida pueden dañar arboles, cuando las lluvias presentan pH muy bajos. La ácidas daña las plantas afectando a su capacidad para extraer nutrientes de la tierra (Mastes y Ela, 2008).

Área de estudio

El municipio de Managua se localiza en las coordenadas $12^{\circ} 09'$, de latitud norte, y $86^{\circ} 16'$, de longitud oeste. Tiene una extensión territorial de 267.17 km^2 , una altitud mínima de 43 msnm y altitud máxima de 700 msnm. Limita al norte con el lago Xolotlán, al sur con el municipio El Crucero, al este con los municipios de Tipitapa, Nindirí y Ticuantepe, y al oeste con los municipios de Villa Carlos Fonseca y Ciudad Sandino (Velázquez, Alcántara, Hernández y Garmica, 2015).

Los sitios para monitorear de las precipitaciones dentro de la ciudad de Managua (Ver Figura 1), fueron al noroeste en las costas del lago Xolotlán en el sitio Puerto Salvador Allende (PSA) con coordenadas UTM 16 P 578885 E, 1344592 N, 48 m.s.n.m. , al noreste en Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino (AIACS) con coordenadas UTM 16 P 590517 E, 1342580 N, 64 m.s.n.m., al sur en Las Colinas con coordenadas UTM 16 P 583388 E, 1342580 N, 261 m.s.n.m., y oeste en Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) con coordenadas 16 P 579778 E, 1339663 N, 115 m.s.n.m.), estos sitios se ubican dentro de la ciudad de Managua. También se ubicó un punto de monitoreo en la comunidad Las Nubes perteneciente a El Crucero coordenadas UTM 16 P 577822 E, 1327589 N, 941 m.s.n.m.



Figura 1. Mapa de ubicación de sitios de monitoreo de precipitaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

La colecta de muestras de precipitaciones se realizó mediante totalizadores tipos Palmex Rain Sampler RS, en estos se almacenan los eventos ocurridos durante un mes calendario. Al momento de tomar las muestras de los totalizadores se realizaron las mediciones de pH con equipo HANNA Instruments Waterproof pH/ORP Tester. Para determinar la acidez de las lluvias se toma como parámetro principal el pH de las aguas de lluvias el cual se clasificó según descripción de Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación del agua lluvia de acuerdo con el pH

pH	Clasificación de la lluvia
$\text{pH} > 5,6$	Lluvia no ácida
$4,7 < \text{pH} \leq 5,6$	Lluvia ligeramente ácida
$4,3 < \text{pH} \leq 4,7$	Lluvia medianamente ácida
$\text{pH} \leq 4,3$	Lluvia fuertemente ácida

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia.

Se analizaron los iones Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , NH_4^- , Fe^{+3} , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- y H_2S de las precipitaciones del mes de octubre de las estaciones PSA, AIACS, Las Colinas, El Crucero. Los análisis fueron realizados en el laboratorio

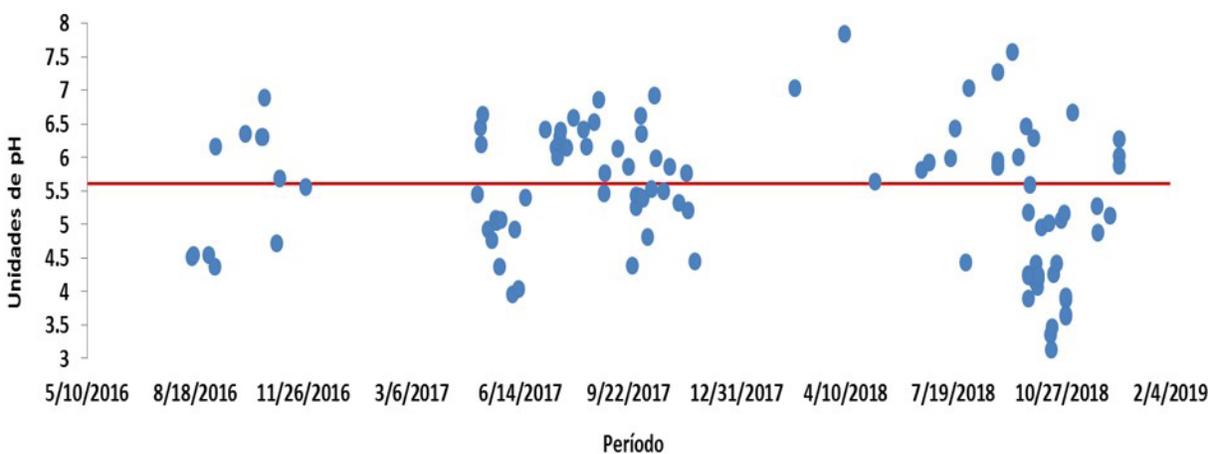
de aguas naturales del CIRA/UNAN-Managua. Se utilizó software IBM SPSS Statistics 19 para análisis estadísticos como fue correlación de Pearson y Análisis de Componentes Principales (ACP).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acidez de las precipitaciones

La variación del pH en las precipitaciones que inciden en la ciudad de Managua en período 2016-2018 como se muestra en la Figura 2 a), para un total de 105 eventos de precipitación. La ciudad de Managua presenta concentración promedio de pH de 5.46, con máximos de 7.85 y mínimos de 3.63.

Considerando el valor de 5.6 como equilibrio de acidez de las precipitaciones, donde los valores superiores son considerados como lluvia natural e inferiores son consideradas como lluvias ácidas. El 51% corresponde a lluvias ácidas y 49% a lluvias naturales (Ver Figura 2 b). Clasificando los eventos de lluvias ácidas se obtuvo que lluvias ligeramente ácidas con pH entre 4.7 y 5.6 con 29 eventos, lluvias medianamente ácidas con pH entre 4.3 y 4.7 con 10 eventos y lluvias fuertemente ácidas con pH inferior a 4.3 con 17 eventos de precipitación.



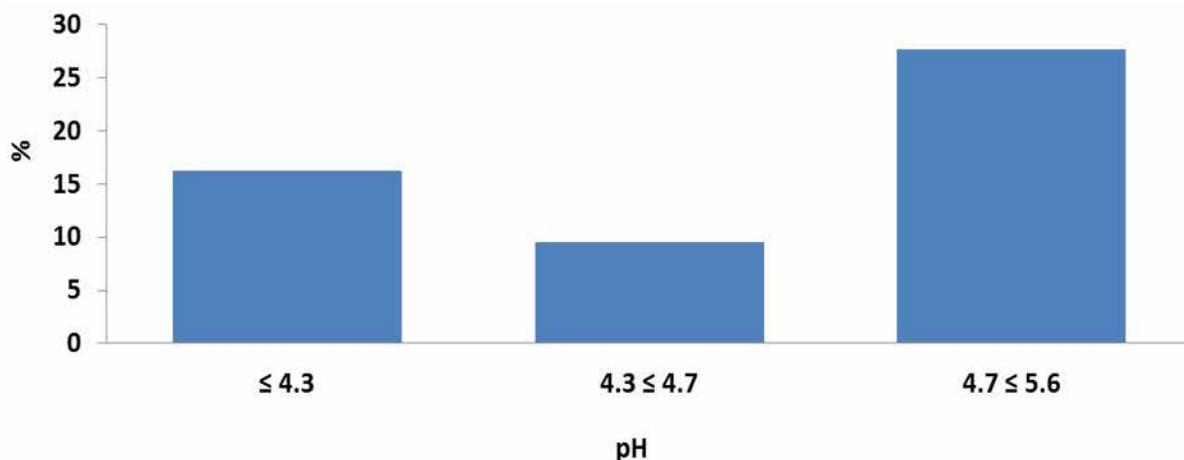


Figura 2. pH de las precipitaciones en Managua. a) Comportamiento del pH en las precipitaciones de cinco sitios de monitoreo dentro de la ciudad de Managua en periodo agosto 2016 a diciembre 2018. b) distribución de frecuencia según rango de pH.

Figura 3, nos indica que no correlación lineal entre pH reportado con el volumen de agua precipitada, hay que describir que los eventos evaluados fueron de muestras compuestas y no de evento instantáneo, como tampoco se evaluó intensidad y duración. López et al. (2014) indica que en las precipitaciones

más copiosas, las gotas tienden a ser más grandes que en las lluvias menos abundante, las cuales tienen más tiempo de residencia en la atmósfera y, por tanto, podrían incorporar más especies químicas de aerosoles y gases, mientras que una gran cantidad de lluvia podría diluir la concentración de los iones.

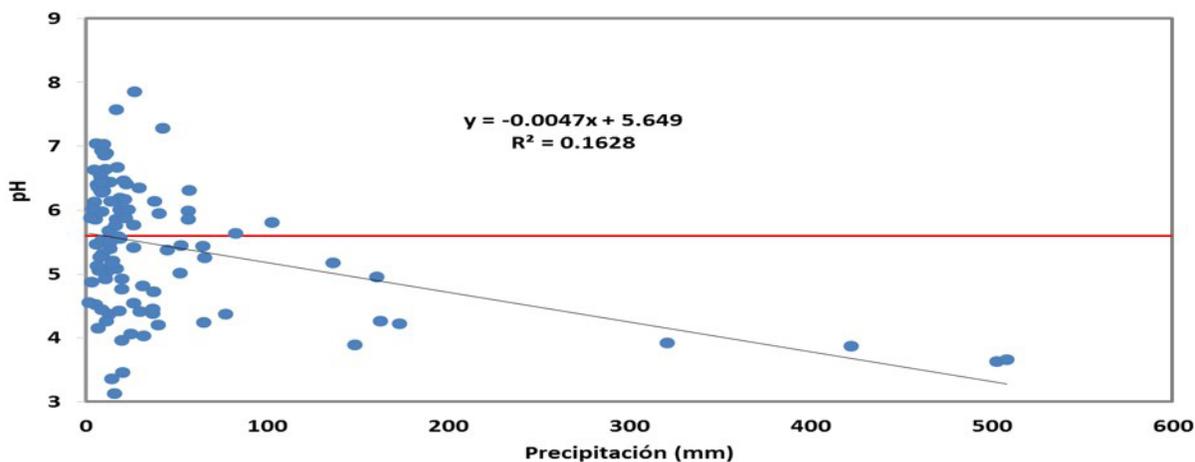


Figura 3. Correlación de pH y precipitación (mm), línea roja representa el equilibrio de pH (5.6), los datos corresponden al período 2016-2019.

Movimiento atmosférico y acidez de precipitaciones

Otro factor importante para evaluar la acidez es lograr determinar el origen de la fuente de humedad atmosférica, como también su recorrido. Barberena (2019) mediante modelo HYSPLIT generó retro trayectorias para determinar el origen de las fuentes de humedad atmosférico que inciden como

precipitaciones en Managua, evaluó en el periodo julio 2016 a julio 2017, 99 eventos de precipitación, donde predominaron las masas de aire provenientes de Mar Caribe, influenciadas por los movimientos de las masas de aire provenientes del Atlántico Norte y Sur. Se identificaron aportes del Océano Pacífico y en menor medida reciclaje de humedad provenientes de Reservas Biológica Indio Maíz y Reserva Natural Cerro

Wawashan en la Costa Caribe Sur y Reserva Natural Bosawás en la Costa Caribe Norte de Nicaragua y Reserva Biológica Tawahka en el sur de Honduras.

Como muestra la Figura 4, no hay relación de la acidificación respecto al movimiento atmosférico, tanto las masas de humedad provenientes del Mar Caribe, Océano Pacífico y Continental presentaron rangos de pH tanto ácidos como alcalinos. Por lo cual la acidez de las precipitaciones no es influenciada por el movimiento atmosférico, se ha demostrado en otras ciudades como el estudio realizado por López et al. (2014) demostró por medio de trayectorias inversas de las masas de aire en Norteamérica, en gran medida, la precipitación ácida en Ontario central se debía a

su paso sobre las termoeléctricas de los estados del oeste medio de los Estados Unidos, en especial Ohio e Indiana, los que emiten cantidades importantes de dióxido de azufre.

López (2012) relaciona la disminución del pH en las estaciones Pinares de Mayarí y Gran Piedra en Cuba, la acidificación de las precipitaciones está influenciada directa de los vientos predominantes del noreste, donde están emplazados el sector minero de Moa y la termoeléctrica Felton, que producen elevadas emisiones de azufre a la atmósfera, provenientes de la quema de petróleo combustible y petróleo crudo nativo (este último con un elevado contenido de azufre) para la generación de electricidad.

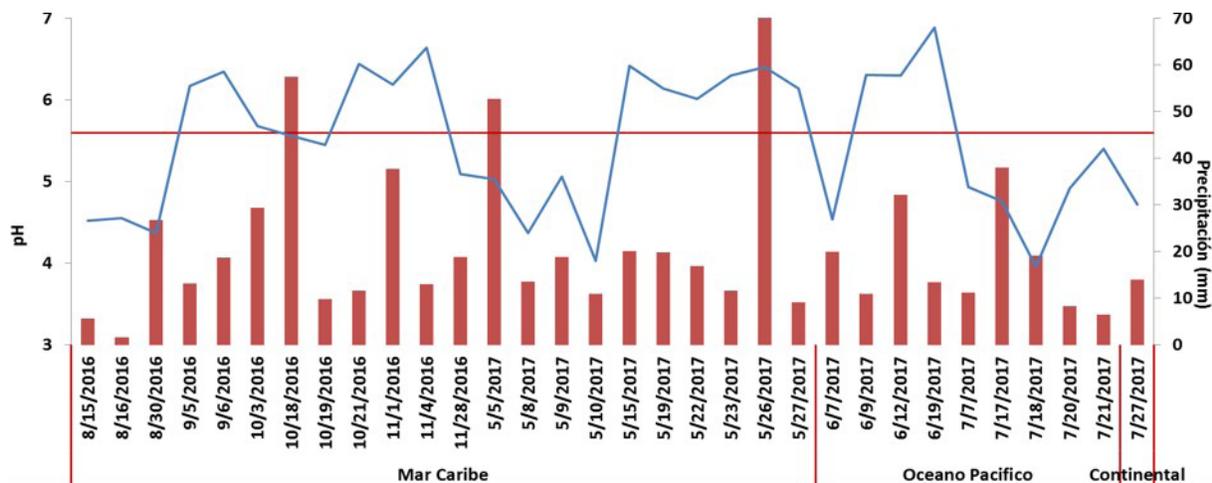


Figura 4. Barras rojas representan procedencia de humedad atmosférica y volumen en las precipitaciones (Fuente Barberena, J. 2019), línea azul representa valores del pH de precipitaciones en periodo 2016-2017.

Composición química de las precipitaciones en Managua

Las concentraciones de los principales cationes en la ciudad de Managua (Ver Figura 5), está dada por los cationes $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$ en los sitios ubicados en PSA,

$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ para las precipitaciones ubicadas en El Crucero, mientras que los AIACS y Las Colinas fue $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, Los aniones predominantes fueron $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, para los sitios AIACS, Las Colinas y El Crucero. El sitio Las Colinas presenta predominancia de $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$.

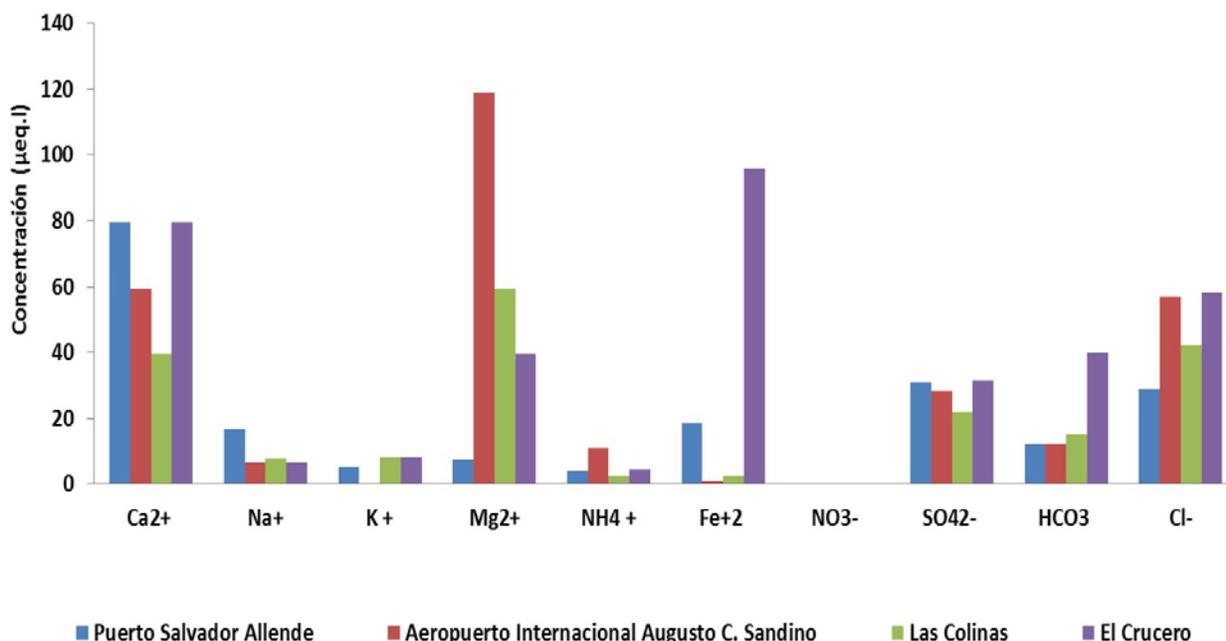


Figura 5. Concentración de principales iones en precipitaciones que inciden en la Ciudad de Managua, octubre 2018. Fuente ALMA.

Tang, Zhuang, Wang, Yuan y Sun (2005) establecieron una relación equivalente como índice para evaluar el grado de actividad antropogénica en las ciudades de Lhasa, Beijing y Shanghai, el índice se establece mediante la ecuación: $(Ca^{2+} + NH_4^+) / (SO_4^{2-} + NO_3^-)$. Aplicando el índice propuesto por Tang et al. (2005) para las precipitaciones en Managua se obtuvieron los resultados de 2.71 (PSA), 2.49 (AIACS), 1.91 (Las Colinas) y 2.69 (El Crucero). Estos valores son similares a los de reportados por Tang et al. (2005) donde reportó valores de 1.3 para Shanghai y 0.73 en Beijing, estos indican afectación por contaminación atmosférica antropogénica.

Para una mejor comprensión y relacionar el acidez de las precipitaciones con sus componente principales se realizó análisis de correlación de Pearson (Ver Tabla 3) y análisis de componentes principales (ACP) de cargas factoriales normalizadas con la rotación Varimax (Ver Tabla 4).

La Tabla 3 nos indica fuertes correlaciones entre Ca^{2+} , SO_4^{2-} , pH. Otra fuerte correlación se da entre Fe, HCO_3^- , pH. Del ACP (Ver Tabla 4) nos indican tres componentes. El componente uno tiene altas cargas de Ca^{2+} , SO_4^{2-} , pH. La alta carga de estos iones al agruparse en el primer componente y dada su fuerte correlación nos indican

que el acidez del agua de lluvias está influenciado por las condiciones ambientales al momento de ocurrencia de eventos de precipitación. La presencia de Ca^{2+} indica fuentes de contaminación atribuidos a contribuciones del polvo del suelo (Báez, Belmont, García, Padilla y Torres, 2007). Los SO_4^{2-} están asociados con la fuente de aerosol secundaria, esto debido a transformación química de SO_2 , en la superficie de los aerosoles (Tang et al. 2005). También el SO_4^{2-} en el agua de lluvia puede proceder principalmente de fuentes antropogénica, como quema de combustibles fósiles, quema de biomasa, entre otros (Vásquez, Alfaro, Sibaja, Esquivel y Valdés, 2012). Romero et al (2017), asocia las concentraciones SO_4^{2-} al tránsito de vehículos, se corresponden con el tamaño de urbe local. Además, puede indicar la relación entre la acidez y los iones del agua de lluvia. La acidez se puede ver como el último reflejo de las características químicas del agua de lluvia, que es el resultado de interacciones / reacciones (Tang et al. 2005).

También los SO_4^{2-} sugiere que estos contaminantes probablemente sean producidos por la misma fuente de procesos de combustión que usan fuel oil con contenido de azufre que se produce en la industria y en las centrales termoeléctricas. Además de un proceso de formación de aerosol secundario, que

está asociado con sus gases precursores SO_2 y NO_x . La oxigenación también se emite por las emisiones de automóviles y la quema doméstica de gas en calderas y estufas (Báez et al. 2007).

El segundo y tercer componente que son K y Cl que se dan a fuentes de contaminación antropogénica, como son las emisiones de fábricas, quema de biomasa, la incineración de basura, entre otros (Tang et al. 2005).

Tabla 3. Análisis de correlación entre principales componentes del agua de lluvia en la Ciudad de Managua, 2018.

Correlación	Ca^{2+}	Na^+	K^+	Mg	NH_4^+	Fe	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	pH
Ca^{2+}	1.000	.423	.006	-.510	.070	.638	.976	.448	-.038	.857
Na^+		1.000	.075	-.715	-.321	-.222	.311	-.424	-.908	.405
K^+			1.000	-.705	-.947	.504	-.189	.530	-.249	.521
Mg				1.000	.784	-.387	-.313	-.240	.675	-.802
NH_4^+					1.000	-.247	.283	-.242	.536	-.430
Fe						1.000	.583	.972	.417	.802
SO_4^{2-}							1.000	.405	.106	.736
HCO_3^-								1.000	.551	.652
Cl^-									1.000	-.165
pH										1.000

Tabla 4. Matriz de componentes principales por método de rotación con normalización Varimax con Kaiser.

	Componente		
	1	2	3
Ca^{2+}	.993		-.118
SO_4^{2-}	.975	-.221	
pH	.865	.497	
Fe	.716	.446	.537
K^+		.997	
NH_4		-.968	.240
Mg	-.469	-.723	.506
Cl^-		-.313	.947
Na^+	.317	.125	-.940
HCO_3	.544	.467	.697

CONCLUSIONES

Las precipitaciones que inciden en Managua son en su mayoría ácidas, en estas predominaron los pH inferiores a 5.6. En este estudio se centró meramente en los procesos acidificantes, pero hay que señalar el carácter alcalino de dichas precipitaciones. Se puede decir con certeza que la acidez de las precipitaciones no está asociado con el movimiento atmosférico, ni

mucho menos con los procesos de intensidad de estas. Ya que tanto la humedad proveniente del Océano Pacífico como del Mar Caribe se comportan tanto ácidas y alcalinas, lo mismo es para precipitaciones de mayor intensidad como de menores intensidades. Los iones principales que presentan las precipitaciones son Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- . A pesar que el ion Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , que pueden estar asociados a partículas del suelo y en el cual no se estudió la deposición seca, estos iones aportados darían un carácter alcalino al agua que se precipita, pero estas presentaron pH inferior a 4. La alta correlación de SO_4^{2-} con algunos iones nos da indicios que la acidez de dichas precipitaciones está influenciada por las condiciones que rigen atmósfera local. Lo que nos lleva a deducir que las industrias presentes en la ciudad, circulación vehicular, entre muchas otras fuentes de contaminación antrópica estarían influenciado en la acidificación de las precipitaciones que rigen en Managua.

Sería de gran utilidad para estudios futuros el monitoreo sistemático tanto de concentraciones iónicas, metales traza, y ácidos como deposición húmeda, como también PM 10, PM 5, PM 2.5 como deposición seca.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada y financiada por el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) mediante el proyecto Mapa Isotópico de Nicaragua, quien coordinó las actividades de muestreo, el Instituto de Estudios Territoriales (INETER) mediante la sección de Hidrogeología de la división de Recursos Hídricos, quien prestó la red de monitoreo de agua de lluvia en Managua.

BIBLIOGRAFÍA

- Báez, A., Belmont, R., García, R., Padilla, H., & Torres, M. (2007). Chemical composition of rainwater collected at a southwest site of Mexico City, Mexico. *Atmospheric Research*(86), 61-75. doi:10.1016/j.atmosres.2007.03.005
- Barberena Moncada, J. (2019). Procedencia de las precipitaciones en la ciudad de Managua mediante el modelo HYSPLIT. *Revista Científica Agua y Conocimiento*, 4(1).
- Garcés Giraldo, L. F., & Hernández Ángel, M. L. (2004). La Lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(2), 67-72. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69510211>
- Granados Sánchez, D., López Ríos, G., & Hernández García, M. (2010). La lluvia ácida y los ecosistemas forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2), 187-206. doi:<http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.04.022>
- Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1999). *Ingeniería Ambiental* (Segunda ed.). México, México: PEARSON Prentice Hall.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (24 de junio de 2017). <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/83>. Recuperado el enero de 2019, de <http://www.ideam.gov.co:> <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/83>
- Jianzhong, M., Xiaobin, X., Chunsheng, Z., & Peng, Y. (2012). A Review of Atmospheric Chemistry Research in China: Photochemical Smog, Haze Pollution, and Gas-Aerosol Interactions. *Advances in Atmospheric Sciences*, 29(5), 1006-1025. doi:10.1007/s00376-012-1188-7.
- León Aristizabal, G. E. (2000). Particularidades de la Lluvia Ácida en Santa Fe de Bogota. *Meteorología Colombiana*, 1(9). Recuperado el Noviembre de 2018, de http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero01/01_09.pdf
- López Lee, R. (2012). Componentes iónicos de las lluvias, fuentes de emisión y condiciones meteorológicas estacionales en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 18(2), 178-195. Recuperado el Noviembre de 2018, de <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/15/15>
- López Lee, R., Collado Arana, A., & Hernández Saavedra, F. (2014). Acidificación de las Precipitaciones en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 20(2), 165-176. Obtenido de <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/175>
- Masters, G. M., & Ela, W. P. (2008). *Introducción a la Ingeniería Medioambiental* (Tercera ed.). Madrid, España: PEARSON Prentice Hall.
- Rodríguez Montellano, A., & Sánchez Sejas, C. (s.f.). Lluvia ácida y sus efectos. Obtenido de <http://www.divulgameteo.es/uploads/Lluvia-%C3%A1cida.pdf>
- Romero Orué, M., Gaiero, D., Paris, M., Fórmica, S., Murray, J., de la Hoz, M., . . . Kirschbaum, A. (January de 2017). Precipitaciones húmedas en el norte de Argentina: caracterización química de los componentes solubles en el Valle de Lerma, Salta. *Adean Geology*, 44(1), 59-78.
- Tang, A., Zhuang, G., Wang, Y., Yuan, H., & Sun, Y. (2005). The chemistry of precipitation and its relation to aerosol in Beijing. *Atmospheric Environment*(39), 3397-3406. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.02.001
- Vásquez Morera, T., Alfaro Solís, R., Sibaja Brenes, J., Esquivel Hernández, G., & Valdés González, J. (2012). Composición química del agua de lluvia y de niebla recolectada en la reserva biológica Monteverde. *UNICIENCIA*(26), 51-63.
- Velásquez Espinoza, G., Alcántara Ayala, I., Hernández Santana, J., & Garnica Peña, R. (2015). La zonificación morfoestructónica-volcánica en el análisis morfoestructural del relieve: el caso del municipio de Managua, Nicaragua. *Investigaciones Geográficas*(87), 118-140.