

COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA DE LLUVIA EN CUNDUACÁN, TABASCO, MÉXICO

PHYSICOCHEMICAL COMPOSITION OF RAINWATER IN CUNDUACÁN, TABASCO, MEXICO

Gallegos-Diaz B.¹, Del Ángel-Meraz E.^{1*}, Pantoja Castro M.A.¹

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura. Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez Km1, Col. La Esmeralda, CP 86690 Cunduacán, Tabasco México.

*ebelia.delangel@ujat.mx

RESUMEN

El objetivo fue realizar una caracterización fisicoquímica del agua de lluvia, en Cunduacán, Tabasco. Se colectaron muestras de 27 eventos de precipitación durante un año, los parámetros determinados fueron; pH, Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Disueltos Totales (SDT), sulfatos (SO_4^{-2}), nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+), cloruros (Cl^-) y bicarbonatos (HCO_3^{-1}). Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) usando un nivel de significancia de 0.05. Los resultados indicaron diferencias estadísticas para pH, CE y SDT ($P < 0.05$) pero no se detectaron diferencias para

SO_4^{-2} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- y HCO_3^{-1} ($P > 0.05$). El pH varió de 4.7 en el mes de mayo a 6.2 en diciembre. Los contaminantes encontrados en mayor proporción fueron HCO_3^{-1} (2.29-12.24 ppm \pm 2.93), SO_4^{-2} (1.40-12.18 ppm \pm 2.53), Cl^- (1.4-3.64 ppm \pm 0.58), NO_3^- (0.04-2.21 ppm \pm 0.18) y NH_4^+ (0.03-0.73 ppm \pm 0.16). Se concluye que la mayoría de los eventos pueden ser considerados de lluvia ácida y que la influencia del HCO_3^{-1} y de SO_4^{-2} es fuerte en la zona de estudio, debido a que fueron los contaminantes con mayor presencia.

Palabras clave: bicarbonatos; contaminantes; lluvia ácida; nitratos; sulfatos.

ABSTRACT

The objective was to carry out a physicochemical characterization of rainwater, in Cunduacán, Tabasco. Samples were collected from 27 precipitation events during a year, the parameters determined were; pH, Electrical Conductivity (EC), Total Dissolved Solids (SDT), sulfates (SO_4^{-2}), nitrates (NO_3^-), ammonium (NH_4^+), chlorides (Cl^-) and bicarbonates (HCO_3^{-1}). An Analysis of Variance (ANOVA) was performed using a significance level of 0.05. The results indicated statistical differences for pH, EC and SDT ($P < 0.05$) but no differences were detected for SO_4^{-2} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- and HCO_3^{-1} ($P > 0.05$). The pH ranged from 4.7 in May to 6.2 in December. Contaminants found in

greater proportion were HCO_3^{-1} ($2.29-12.24 \pm 2.93$ ppm), SO_4^{-2} ($2.53 \pm 1.40-12.18$ ppm), Cl^- ($1.4-3.64$ ppm ± 0.58), NO_3^- ($0.04-2.21$ ppm ± 0.18) and NH_4^+ (0.03 to 0.73 ± 0.16 ppm). It is concluded that most of the events can be considered as acid rain and the influence of HCO_3^{-1} and SO_4^{-2} is strong in the site of study because they were the most present pollutants

Key words acid rain; bicarbonates; contaminants; nitrates; sulfate

INTRODUCCIÓN

La industrialización ha generado diversos impactos ambientales, uno de ellos es la formación de lluvia ácida, debido a la emisión de gases contaminantes producidos por la quema de combustibles fósiles, generando altas concentraciones de dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2), debido a que estos reaccionan con el

agua, el oxígeno y otras sustancias formando soluciones diluidas de ácido nítrico y sulfúrico [1].

Los contaminantes atmosféricos primarios que dan origen a la lluvia ácida pueden recorrer cientos o miles de kilómetros, debido a los vientos, antes de precipitarse en forma de rocío, lluvia, llovizna, granizo, nieve, niebla o neblina. Cuando la precipitación se produce, puede provocar importantes deterioros en el ambiente [2].

Las fuentes naturales que generan el SO_2 son los océanos y las erupciones volcánicas, mientras que las de origen antropogénico derivan de la quema de carbón, petróleo y otros procesos industriales. Por otro lado, los óxidos de nitrógeno se generan de forma natural, de los rayos, erupciones y otros procesos biológicos donde suelen estar involucrados los microorganismos. El origen antropogénico es el resultado de la combustión generada por el uso de

vehículos, procesos industriales y centrales energéticas [3].

La lluvia con pH ácido, en el rango de 4.0 a 4.2, se forma por la combinación con dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Estos gases pueden alcanzar niveles muy altos en la atmósfera, donde se mezclan y reaccionan con agua, oxígeno y otras sustancias químicas, para la formación de la lluvia ácida [4].

En las cercanías del área de estudio, se encuentran instalaciones petroleras como la Samaria-Íride. Estas instalaciones se han caracterizado por ser de las zonas de mayor conflicto para Petróleos Mexicanos (PEMEX), debido a los reclamos de los habitantes por la corrosión de techos de láminas de acero galvanizado y cercos de alambre, muerte e improductividad de cultivos, así como por la contaminación de suelos y cuerpos de agua. Otra actividad que impacta la calidad del aire en este municipio es la

práctica conocida como roza-tumba-quema de los pastizales en el período de sequía que se practica en los meses de marzo, abril, mayo y junio. Esta actividad, aunada a las actividades realizadas en los giros industriales y de servicios, genera una cantidad importante de contaminantes atmosféricos en esta zona [5].

De acuerdo al inventario de emisiones realizado por la Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental, validado por la secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en el año 2013, se estimó una emisión total de 42,359 mg año⁻¹ de partículas PM₁₀ (Partículas de 10 μm), 28,130 mg año⁻¹ de PM_{2.5} (Partículas de 2.5 μm). Con una contribución proveniente de fuentes fijas de 12 % de PM₁₀ y 10 % de PM_{2.5}, 87 % de las PM₁₀ y 88 % de las PM_{2.5} provienen de fuentes del área y el restante de fuentes móviles

emitidas a la cuenca atmosférica de Tabasco [6].

La lluvia ácida ocasiona que los cuerpos de agua sean ácidos, los ríos y lagos normalmente muestran signos de acidificación, ya que tienen menos posibilidades de amortiguar las entradas de ácido que los suelos o las plantas [7]. Debido al impacto que tiene la acidificación de la lluvia en el ecosistema, en la presente investigación se realizó una caracterización de la lluvia en la zona de Cunduacán, Tabasco, México; donde se estudiaron parámetros fisicoquímicos en el periodo de enero 2018-enero 2019.

METODOLOGÍA

Sitio de muestreo. El sitio de colección de muestras de agua de lluvia fue instalado en el techo del Laboratorio de Ingeniería Química, en la División Académica de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ubicada en el municipio de

Cunduacán en el estado de Tabasco, México a los 18°03' Norte y 93° 10' Oeste, a una distancia aproximada de 50 km de la costa del Golfo de México y a 10 km del complejo Samaria-Íride, donde se localizan las instalaciones de la empresa PEMEX. Esta empresa cuenta con la siguiente infraestructura cerca de la zona; batería de separación Íride II, Samaria II, Samaria Terciario, Bellote y Cunduacán. Se encuentran las estaciones de compresión de Samaria II, Bellote y Cunduacán, así como la planta

deshidratadora Samaria II, las áreas de trampa Km 77+100 Rio carrizal y la planta de inyección de agua Samaria [8]. Las instalaciones antes mencionadas en conjunto potencialmente emiten una cantidad importante de contaminantes a la atmósfera tales como los óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), monóxido de carbono (CO), ácido sulfúrico (H₂S) y algunos otros compuestos orgánicos volátiles [9].

La rosa de vientos que se presenta en la **Figura 1**, se observa la distribución

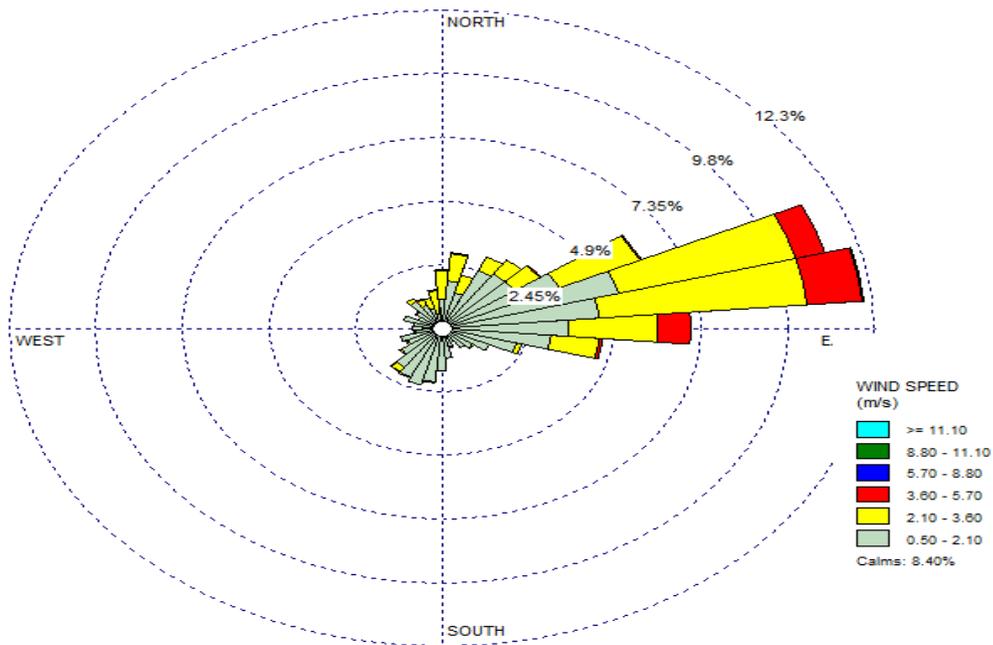


Figura 1. Rosa de los vientos correspondiente al periodo (2018- 2019).

porcentual de la dirección durante el periodo de enero 2018 a enero 2019. Los vientos de la dirección Este, tienen en mayor predominio en la mayoría de los meses consultados, seguido del Noroeste mientras que los del Oeste y Noroeste se presentan en muy pocos meses y con muy poca intensidad.

Muestreo de la lluvia. Un total de 27 eventos de precipitación fueron colectados en el periodo de enero 2018 a enero 2019. Las muestras de agua fueron colectadas por triplicado en recipientes plásticos con capacidad de cinco litros. En laboratorio se analizaron un total de 70 muestras de agua producto de los eventos de lluvia en el 2018-2019. El agua se recolectaba y luego se transportaba al laboratorio en donde se le efectuaron los análisis correspondientes.

Parámetros fisicoquímicos. Los parámetros fisicoquímicos cuantificados fueron los siguientes. El pH se determinó sin agitación con el apoyo de un pH-

metro, marca Hanna Instrumental, equipado con un electrodo de referencia de calomel, el cual se calibraba con tres soluciones buffer de pH de 4, 7 y 10, esta determinación se realizó de acuerdo a la norma NMX-AA-008-SCFI-2016 [10].

La Conductividad Eléctrica (CE) se midió de acuerdo a lo especificado en la NMX-AA-093-SCFI-2000 con un conductímetro marca Hanna Instruments, el cual se calibraba en forma rutinaria con una solución de KCl [11]. Los Sólidos Disueltos Totales (SDT), al igual que el pH y la CE se midieron con un equipo marca Hanna, el cual especifica resultados en un rango de 0 a 2,000 ppm. La determinación de cloruros (Cl⁻) se realizó utilizando el método argentométrico que se basa en volumetritulación y se calculó de acuerdo a la NMX-AA-073-SCFI-2001 [12]. Previo al análisis, las muestras se ajustaron a un pH en el intervalo de 7.0 y 8.3 y se titularon con una solución de nitrato de

plata (AgNO_3) así como con un indicador de cromato de potasio (K_2CrO_4). Para la cuantificación del amonio se tomaron 10 ml de la muestra en vasos con capacidad de 50 ml a los cuales se le agregó una gota de sulfato manganoso, más 0.5 ml de solución de hipoclorito y 0.6 ml del reactivo de fenato (fenol+NaOH) [13]. Se procuró que las muestras estuvieran en agitación y la primera adición de reactivos se realizó a los 5 s, 10 min después se leyó la muestra en el espectrofotómetro UV-VIS marca Milton Roy a 630 nm. Los nitratos (NO_3^-) se cuantificaron siguiendo la NMX-AA-079-1986, cuyo método se basa en la reacción entre el ion nitrato y la brucina que produce un color amarillo y que puede ser utilizado para una estimación colorimétrica del nitrato. La intensidad del color fue determinada a 410 nm [14], en el espectrofotómetro UV-VIS marca Milton Roy. El parámetro de sulfatos

(SO_4^{-2}) fue detectado siguiendo la NMX-AA-074-SCFI-2014 utilizándose la técnica turbidimétrica de sulfato de bario [15]. El ion sulfato precipita con el cloruro de bario en una solución de ácido clorhídrico 1:1, formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. La absorción espectral de la suspensión del sulfato de bario se determinó a lecturas de 500 nm en el espectrofotómetro UV-VIS marca Milton Roy. El parámetro de bicarbonatos (HCO_3^{-1}), se realizó siguiendo el método 2320 en el cual se tomaron 5 ml de la muestra en vasos con capacidad de 50 ml [16]. A continuación, se agregaron tres gotas de indicador de fenolftaleína al 0.25 % y al aparecer un color rosa, se procedía a titular con HCl 0.01 N hasta un vire incoloro; si no aparecía el color rosa, se reportaban carbonatos igual a cero. Se procedía con la siguiente determinación que era la de bicarbonato, se le agregaban tres gotas

de azul de bromofenol 0.04 % al mismo vaso apareciendo un color azul y se continuaba con la titulación de HCl 0.01 N hasta la aparición de una tonalidad color verde.

Análisis estadístico. Se utilizó el análisis estadístico con el software Minitab. Para cada una de las variables

diferencias por mes de muestreo ($P < 0.05$). El menor valor promedio se observó en la precipitación ocurrida en el mes de mayo con un pH de 4.75, mientras que el máximo valor promedio se detectó en el agua del mes de diciembre con un pH de 6.30 (Figura 2). En estudios similares realizados en la

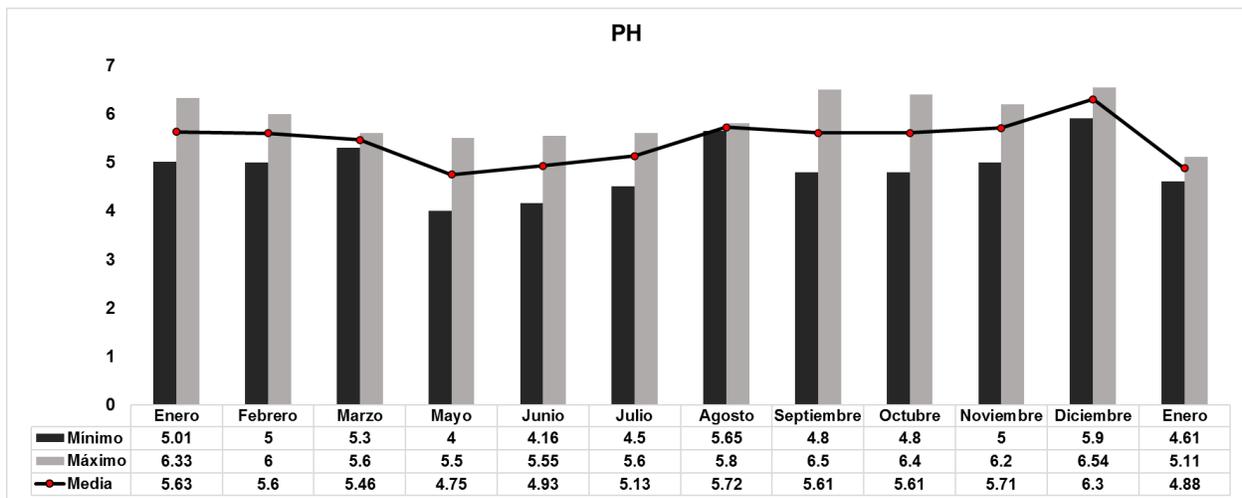


Figura 2. Promedio mensual de pH en el periodo de estudio (2018-2019).

se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) con el propósito de detectar diferencias por mes de muestreo y se utilizó un nivel de significancia de 0.05.

RESULTADOS

Determinación del pH. Para el parámetro de pH, el ANOVA detectó

zona de estudio en el periodo de 1998-2001 se encontraron valores de pH en el rango de 3.56 a 5.98 [17]. Otros estudios reportados en el periodo de 2001 a 2002 que los valores de pH fluctuaban en un rango de 3.49 a 6.37 [18].

De acuerdo con estos antecedentes, se puede observar que los valores de pH

obtenidos en este estudio, son similares a los observados en estudios anteriores realizados en Tabasco.

Sin embargo, estos resultados son alarmantes cuando se analiza que los valores de pH son logarítmicos; es decir, que un valor de pH= 4.0 es 30 veces más ácido que la lluvia normal. Estos valores

cuarteaduras menores y, en algunos casos, pérdidas totales.

Determinación de la conductividad eléctrica (CE) y SDT. Para el parámetro de CE, el ANOVA también detectó diferencias por mes de muestreo ($P < 0.05$). En la **Figura 3** se puede visualizar que los valores máximos

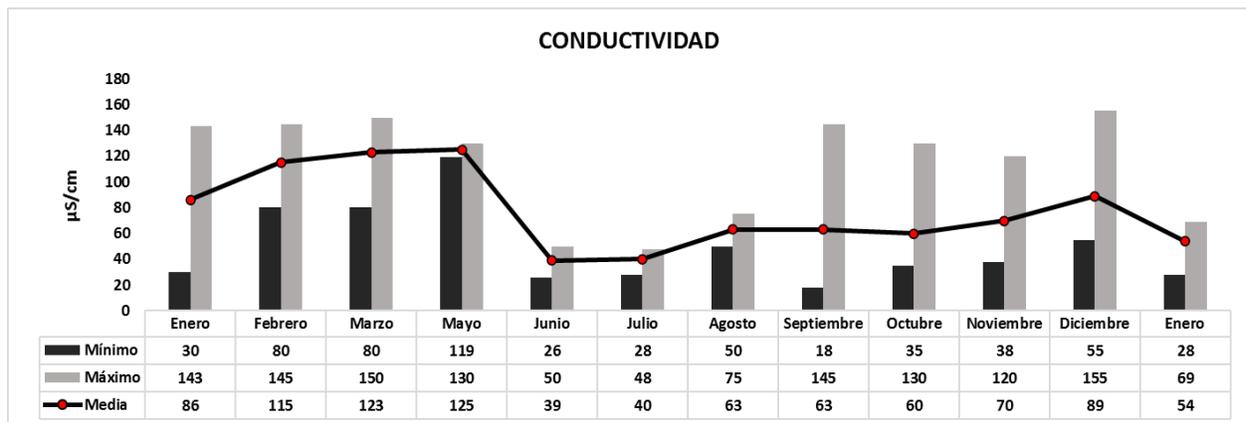


Figura 3. Promedio mensual de conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el periodo 2018-2019.

bajos de pH son preocupantes para la industria de la construcción, toda vez que una construcción típica de concreto contiene un pH de 12 a 13.5 [19] y que bajo un ambiente de lluvia ácida se producen reacciones físicas y químicas, que traen como resultado pérdida de fuerza mecánica que se van a traducir en

promedio se detectaron en los meses de marzo ($123 \mu\text{S cm}^{-1}$) y mayo ($125 \mu\text{S cm}^{-1}$) mientras que los menores se notaron en junio con $39 \mu\text{S cm}^{-1}$ y julio con $40 \mu\text{S cm}^{-1}$. En agua de lluvia con características normales, el valor de la conductividad en $\mu\text{S cm}^{-1}$ debe tender a cero. En un agua lluvia con

características ácidas son comunes valores por encima de los $20 \mu\text{S cm}^{-1}$ [20]. Tovar et al. (2017) realizaron estudios similares en Huila, Colombia donde obtuvieron una conductividad promedio mensual de $8 \mu\text{S cm}^{-1}$ [21]. El parámetro de Sólidos Disueltos Totales (SDT) fue diferente estadísticamente por mes de muestreo ($P < 0.05$). La mayor concentración se notó en el mes de junio con valores de 22 ppm mientras que las máximas concentraciones se detectaron en el mes de mayo con valores de 69 ppm (Figura 4).

La presencia de concentraciones elevadas de sólidos disueltos originan una mayor conductividad, con ello se genera una lluvia más agresiva. La gran

influencia de iones disueltos, propician el aceleramiento de los procesos de corrosión, si se sigue con esta tendencia el daño a estructuras metálicas y desgaste a monumentos será cada vez más notoria.

Determinación de Cloruros (Cl^{-1}). La concentración de Cl^{-1} no fue estadísticamente diferente por mes de muestreo ($P > 0.05$). Los niveles de cloruros estuvieron en un rango de 0.68 ppm como mínimo detectado en el mes de noviembre y de 2.62 ppm como máximo en el mes de agosto; el promedio general fue de $2.06 \text{ ppm} \pm 0.58 \text{ ppm}$ (Figura 5). Estos resultados se pueden explicar por la cercanía que tiene la zona

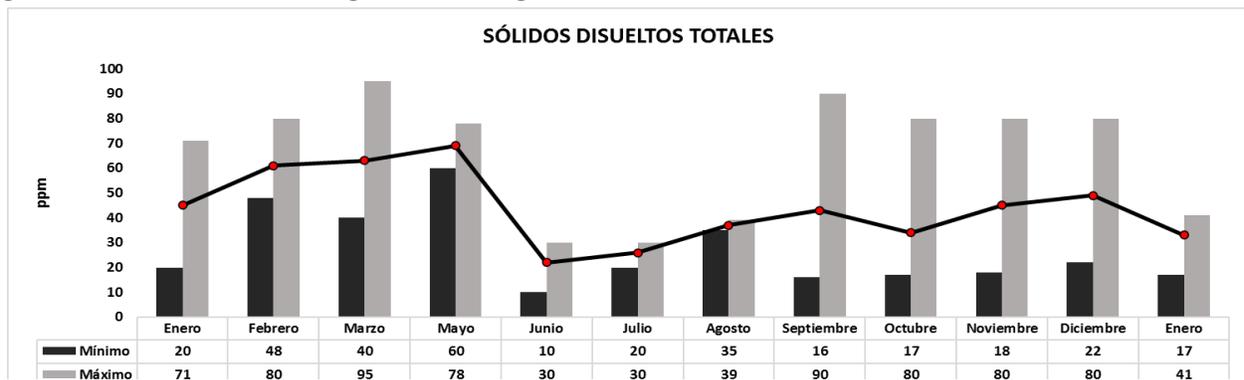


Figura 4. Promedio mensual de sólidos disueltos totales en ppm (2018-2019).

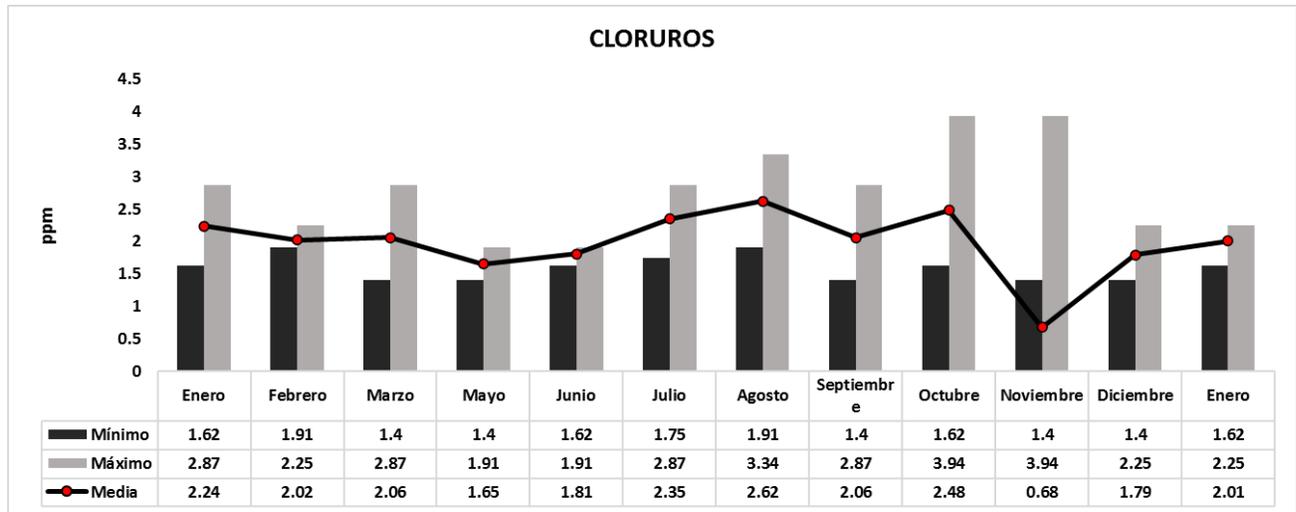


Figura 5. Promedio mensual de cloruros en ppm (2018-2019).

de estudio con las costas del Golfo de México (50 km), y donde el aerosol marino aporta a la química de precipitación iones de Na^+ , Cl^- y Mg_2^+ , provocando con ellos la corrosión en estructuras metálicas y techos de lámina que son características de la zona de estudio. La presencia de cloruros en la lluvia es una de las causas del daño y de la degradación de las estructuras de concreto de la localidad, debilitando su impermeabilidad y resistencia.

Determinación de Nitratos (NO_3^-). Para el parámetro de NO_3^- , el ANOVA no

detectó diferencias estadísticas por mes de muestreo ($P > 0.05$).

En la **Figura 6**, se muestran las concentraciones de NO_3^- , las más altas, se registraron en el mes de mayo con 0.77 ppm mientras que las mínimas estuvieron en el mes de julio con 0.16 ppm. El rango de concentración de NO_3^- fue de 0.04 - 2.21 ppm \pm 0.18.

Las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) estimada en promedios diarios por la operación de las instalaciones en el área Samaria-Írde se encuentran en el rango de 8.8 a 9.3 ton d^{-1} .

Por otro lado, existían aproximadamente un total de 22,188 vehículos de motor en circulación en el área de Cunduacán [22].

encontraron valores del ion nitrato en una fluctuación de 1.54 a 3.17 ppm, mientras que otros estudios efectuados en el

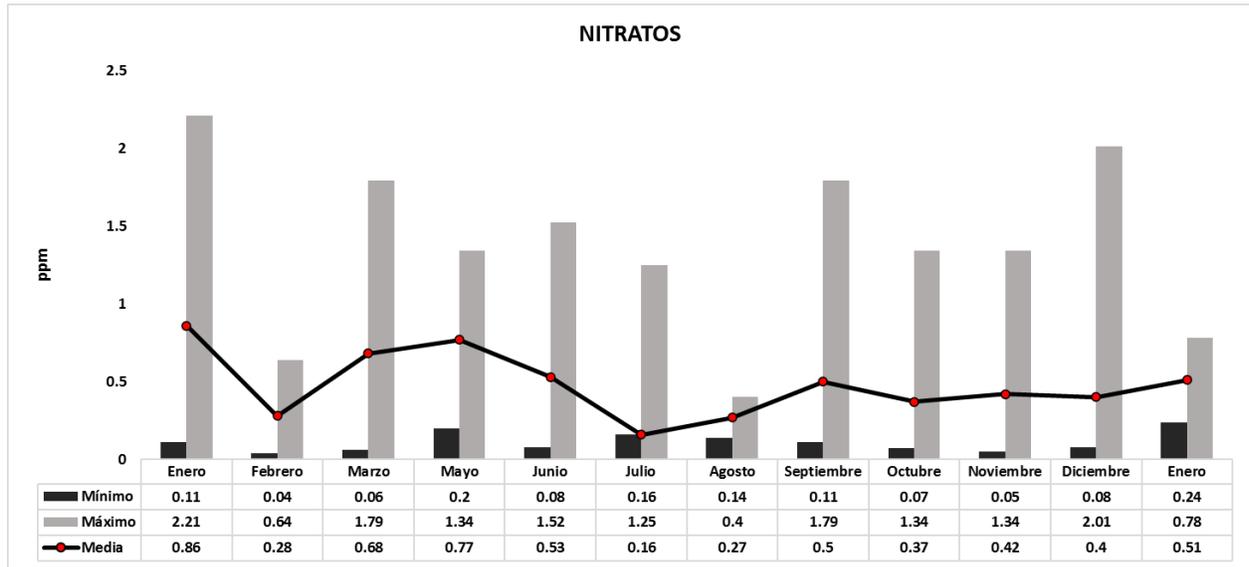


Figura 6. Promedio mensual de nitratos en ppm (2018-2019).

Probablemente también contribuyen a las emisiones de vapores nitrosos de vehículos automotores, la estación de monitoreo de calidad del aire situada en las instalaciones de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Unidad Chontalpa han reportado niveles de 0.023 4 a 0.024 ppm promedio mensual de NO_x [9]. En otros trabajos de monitoreo de agua de lluvia realizados en Cunduacán en el periodo 1998-2001, se

periodo de 2001 a 2002 reportaron valores mínimos de 0.05 ppm y un valor máximo de 1.22 ppm [19]. Por tanto, los resultados aquí encontrados coinciden con resultados previos. Estudios realizados por Granados-Sánchez *et al.*, (2010), en la Cuenca de la Ciudad de México (CACM), en las épocas de invierno e inicios de primavera (periodo seco), se encontraron que las concentraciones promedio de la deposición seca ($\mu\cdot m^{-3}$) de contaminantes nitratos fueron de 1.7 ± 1.4 [23]. Singh &

Agravado realizaron estudios en la Ciudad de Nueva York, y encontraron valores promedio de nitratos de 35, 22 y 25 μmol^{-1} [7]. Un

El amoníaco se utiliza principalmente en la fabricación de fertilizantes como el nitrato de amonio (NH_4NO_3) y el sulfato

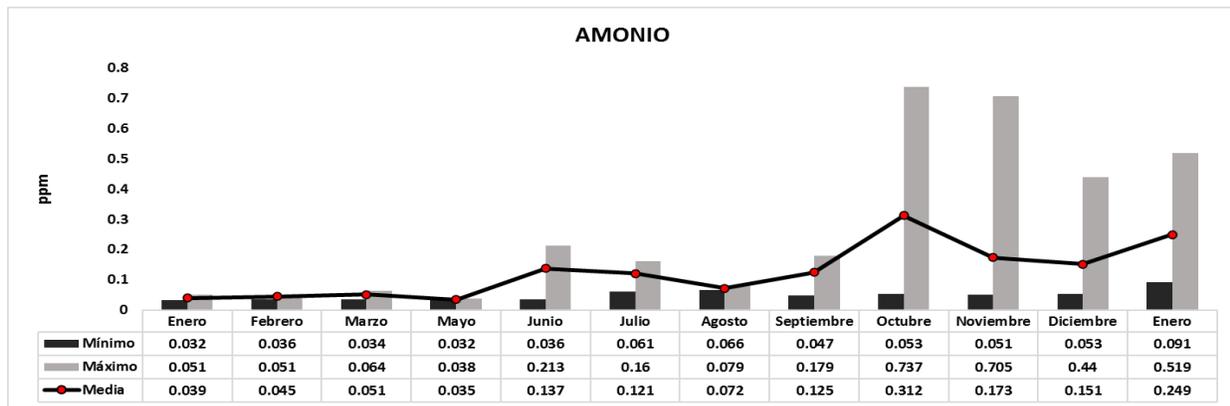


Figura 7. Promedio mensual de amonio en ppm en el periodo de estudio (2018-2019).

enriquecimiento de nitratos ocasiona daños en el medio terrestre y acuático; mientras que las plantas sufren un aumento de vulnerabilidad al no poder procesar los nitratos, que son consecuencia de grandes emisiones de gases, además en los cuerpos de agua ocasionan una reducción del oxígeno disuelto.

Determinación de amonio (NH_4^+). Los valores de NH_4^+ obtenidos en el presente estudio fueron diferentes por mes de muestreo ($P < 0.05$). La concentración media varió de 0.035 ppm detectada en mayo a 0.249 ppm observada en el mes de enero de 2019 (Figura 7).

de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Estos fertilizantes, al igual que el amoníaco en solución, se aplican a las tierras cultivables en el ambiente de estudio, este contaminante se evapora y se van a la atmósfera.

Cuando se presenta un evento de precipitación los iones se depositan en lagos, ríos y suelos contaminándolos y provocando un desequilibrio ecológico a altas concentraciones. Estudios previos en la cuenca de la Ciudad de México (CACM), durante las épocas de invierno e inicios de primavera (periodo seco),

reportaron que las concentraciones promedio de la deposición seca ($\mu\cdot m^{-3}$) de contaminantes de amonio estuvieron en el rango de 1.3 ± 0.8 [23].

instalaciones petroleras (Samaria-Íride). Los óxidos de azufre se eliminan del aire mediante su conversión en ácido sulfúrico y sulfatos; de esta forma terminan depositándose sobre el suelo o

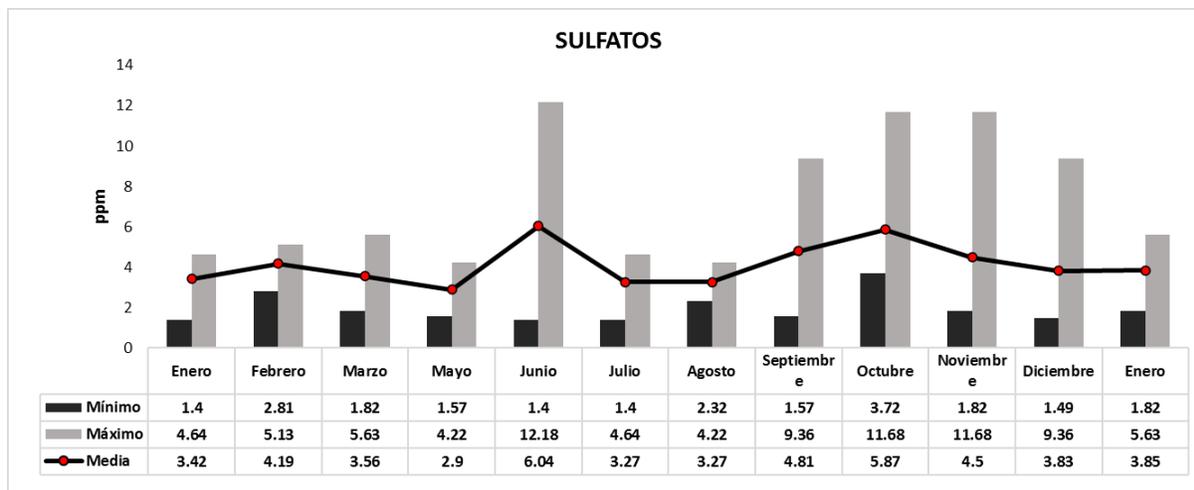


Figura 8. Promedio mensual de sulfatos en ppm en el periodo de estudio 2018-2019.

Determinación de sulfatos (SO_4^{-2}). La concentración de SO_4^{-2} no fue diferente por efecto de mes ($P>0.05$). En general, las mayores concentraciones promedio se observaron al principio del año con 2.90 ppm en el mes de mayo, mientras que los valores mayores se notaron al mes siguiente con valores promedio de 6.04 ppm en junio (**Figura 8**).

Los sulfatos se relacionan con los contaminantes emitidos por las

en el mar, ya sea con la precipitación pluvial o sedimentándose en forma de partículas [24].

El SO_4^{-2} es uno de los agentes más importante en la corrosión del zinc, determina los cambios del pH de la película húmeda formada sobre la superficie del metal y, de esta manera puede acelerar su corrosión atmosférica de las láminas de acero galvanizado las

cuales son recubiertas de zinc y utilizadas como techo.

De acuerdo a estudios realizados por Del Ángel (2007) sobre la corrosión atmosférica del zinc en Cunducacán, se encontró mediante el análisis de rayos X que el contaminante SO_4^{-2} formaba productos de corrosión como el hidroxisulfato de zinc hidratado $[\text{Zn}(\text{OH})_2]_3 \cdot (\text{ZnSO}_4) \cdot (\text{H}_2\text{O})_5 (\text{OH})_2)_3$ (fase principal) y el bisulfato ácido de zinc $[\text{Zn}(\text{HSO}_4)_2 \cdot (\text{HSO}_4)_2]$ [25].

Tovar *et al.*, (2017) en su investigación realizada en Hiula, Colombia,

De acuerdo al IDEAM los valores de referencia del agua lluvia de carácter ácido se encuentra dentro del rango de 3-8 mg/L de SO_4^{-2} [20]

Determinación de bicarbonatos (HCO_3). El ANOVA no detectó diferencias estadísticas por mes de muestreo para la variable de HCO_3 ($P > 0.05$). La concentración menor se notó en el mes de mayo con 4.47 ppm mientras que las mayores concentraciones se notaron en el mes de enero del 2018 con 7.48 ppm. Las cuales se muestran en la **Figura 9**.

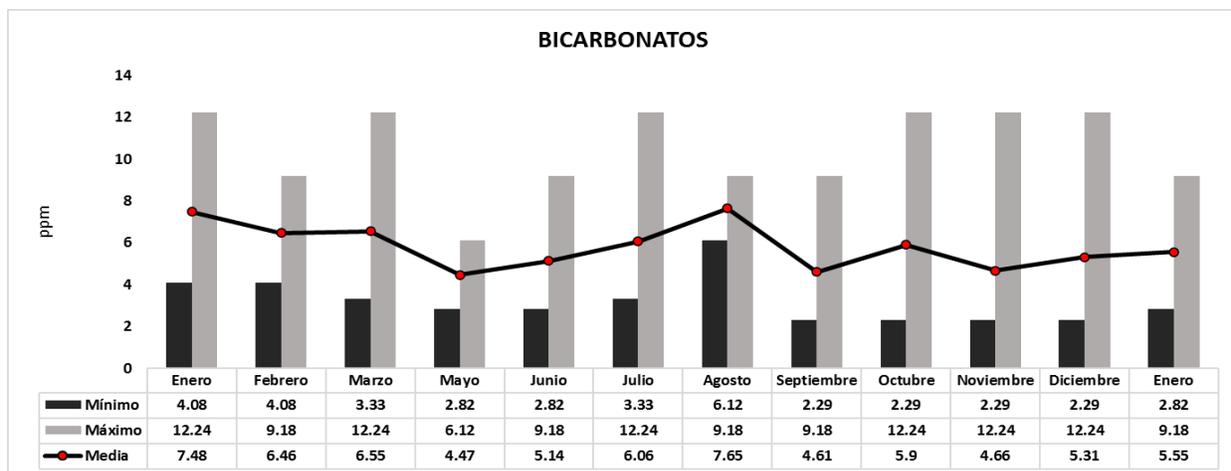


Figura 9. Promedio mensual de bicarbonatos en ppm en el periodo de estudio (2018-2019).

encontraron valores promedios máximos de sulfatos cercanos a 6,91 mg/L [21].

Las concentraciones de este ion, se deben a las aportaciones de CO_2 , que se

produce durante la fotosíntesis de las plantas ya que el ambiente de estudio se encuentra en una zona arbolada aunque también influyen los diferentes procesos de combustión de las instalaciones petroleras. Otro aporte importante es por los constantes nortes que aportan iones cloruros que potencialmente están impactando al sitio de estudio por ubicarse a 50 km del Golfo de México.

La disminución de la presencia de bicarbonatos en la lluvia, genera un desequilibrio en las reacciones propiciando un aumento en el medio ácido.

CONCLUSIONES

Los valores de pH permiten concluir que en la zona de estudio se presentan eventos de precipitación durante todo el año que se pueden considerar como lluvia ácida. Se muestra una pequeña influencia de la dirección del viento y los acontecimientos llamados “nortes” los

cuales transportan y ocasionan la concentración de emisiones contaminantes a inicio y principio de año, generando un incremento en los pH seguido de las concentraciones de los iones sulfatos, cloruros, nitratos y amonio.

El análisis fisicoquímico de la lluvia en Cunduacán, Tabasco muestra el grado de acidez que existe en la lluvia, visualizando los efectos generados por la contaminación atmosférica presente por la industria petrolera alrededor del sitio de muestreo. Con este trabajo se prevé el seguimiento a largo plazo de la evaluación de los daños en este ecosistema.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por el apoyo para realizar esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Gutiérrez N. L. (2016). Diagnóstico de la presencia de lluvia ácida al sur de serranía de Majuy en cota Cundinamarca y su efecto en especies liquénicas, Repositorio Institucional Universidad Santo Tomás. 1–34. <https://hdl.handle.net/11634/2520>
- [2] Obando C. J. (2017). Influencia del agua en el desempeño de los pavimentos: lluvia ácida, Investigación e Innovación En Ingenierías, 5(2), 190–206. <https://doi.org/10.17081/invi.no.5.2.2761>.
- [3] Hernández, E. (2019). El fenómeno de la lluvia ácida, Moleqia, 33, 57–59.
- [4] Rodríguez-Montellano A., Sánchez-Sejas C. (2014). Lluvia ácida y sus efectos. En: Compilación técnica, (Rodríguez-Montellano A. & Sánchez-Sejas, C.), 1-14, Universidad Mayor de San Simón. Facultad de ciencias tecnología, Bolivia.
- [5] SEDESPA. (2005). Boletín Informativo de la Calidad del Aire del Estado de Tabasco. Secretaría de Desarrollo Social y Protección Al Medio Ambiente Informe. Tabasco, México.
- [6] SENARPAM. (2016). Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio del Estado de Tabasco. Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental. Tabasco, México. [7] Singh A. y Agrawal M. (2008). La lluvia ácida y sus consecuencias ecológicas. Revista de biología ambiental. 29 (1) 15-24.
- [8] PEMEX. (2005). Gerencia de Planeación y Evaluación Región Sur; Superintendencia de Administración de la Información y Difusión. Petróleos Mexicanos; Exploración y Producción Registro. Tabasco, México.
- [9] Mendoza V. M. (2002). Inventarios de emisiones atmosféricas por la actividad de las instalaciones petroleras en la zona central del estado de Tabasco. (Tesis de Licenciatura). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Cunduacán, México.
- [10] SCFI. (2016). Análisis de agua-Determinación de pH. Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de La Federación. (09 de septiembre de 2016)
- [11] SFCI. (2000). Análisis de agua-Determinación de la conductividad. Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2000. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de La Federación. (18 de diciembre de 2000).
- [12] SCFI. (2001a). Análisis de agua-Determinación de Cloruros totales en agua naturales, residuales y residuales tratadas, Método de prueba. Norma Mexicana NMX-AA-73-SCFI-2001. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial

de La Federación. (18 de diciembre de 2000).

- [13] APHA, AWWA, WPCF. (2000a). 2320-B. Método para la determinación de la alcalinidad en el agua. En: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA-AWWA-WPCF). Díaz de los Santos S.A. España.
- [14] SCFI. (2001b). Análisis de aguas-Determinación de Nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de La Federación. (13 de agosto de 2001).
- [15] SCFI. (2014). Análisis de aguas-Medición del ion sulfato en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. Norma Mexicana NMX-074-2014.Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de La Federación. (13 de enero de 2015).
- [16] APHA, AWWA, WPCF. (2000b). 4500-NH4-D Método de la sal de fenol. In Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. (APHA-AWWA-WPCF). Díaz de los Santos S.A. España.
- [17] Jacinto, N. (2001). Evaluación de la acidez en la precipitación pluvial en tres municipios del Estado de Tabasco. (Tesis de Licenciatura). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Cunduacán, México.
- [18] Xicoténcatl, M. (2002). Evaluación de SO₂, NO_x y su relación con la lluvia ácida en dos municipios del estado de Tabasco. (Tesis de Licenciatura). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Cunduacán, México.
- [19] Fan, Y., Hu, Z., Zhang, Y., & Liu, J. (2010). Deterioration of compressive property of concrete under simulated acid rain environment. *Construction and Building Materials*. 24(10), 1975–1983.DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2010.04.002](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.002).
- [20] Ruiz-Ospina P. y Benavidez-Ballesteros H. (2007). Documento técnico de respaldo a la información sobre lluvia ácida. IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Subdirección de Meteorología.
- [21] Tovar-Suárez N. L. y Orjuela-Ortiz C. A. (2017). Determinación de acidez del agua lluvia y las condiciones meteorológicas asociadas, en el parque arqueológico de San Agustín, Huila. Tesis de licenciatura. Recuperado en https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/713
- [22] INEGI. (2017). Anuario Estadístico y Geográfico del Estado de Tabasco. Instituto Nacional de Estadística, Anuario, D.F, México.

- [23] Granados-Sánchez D., López-Ríos G. F y Hernández-García M. A (2010).La lluvia ácida y los ecosistemas forestales. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 16(2) 187-206.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.04.022>
- [24] Galloway J., Knap A., & Keene W. (1988). Local influences on the composition of precipitation on Bermuda. Tellus B,40(3),178–188.
<https://doi.org/10.3402/tellusb.v40i3.15905>
- [25] Del Ángel-Meraz, E. (2007). Estudio de la disolución del zinc “Runoff” en el clima tropical húmedo del Golfo de México. (Tesis de Doctorado). Programa de Corrosión Del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, México.

