
Monitoreo del pH del agua de lluvia para la ciudad de Culiacán, Sinaloa.

M. A. Díaz-Ibarra^{1*}, M. D. Muy-Rangel², W. Rubio-Carrasco² y E. Ramos-Felix¹

¹ Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Ambiental, Calzada Universitarios s/n Ciudad Universitaria, C.P. 80040, Culiacán, Sinaloa. Telefax: 01 (667) 7134043 y 53, Ext. 110.

² Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD Culiacán), Carretera a El Dorado Km 5.5, Col. Campo El Diez, Culiacán Sinaloa, C.P 80129, Tel. 52 (667)760 5536, 37 y 38

Monitoring the pH of rain water for the city of Culiacan, Sinaloa.

Abstract

The quality of rainwater was monitored in the city of Culiacan, Sinaloa in function of the pH value. Samples were taken at 4 points inside the city during the rainy season of 2010. Statistical and comparative studies were carried on the water samples collected. The results showed the absence of acid rain in the city ($\text{pH} \leq 5$). The city of Culiacan could be divided into two zones depending on the significant differences between pH value of rainwater, the north with a higher pH value and the south with a lower pH value. In Addition, 2 physicochemical analyses of rainwater samples were conducted to determine the quality of it; significant variations in the values of sulfates and nitrates were found, but within normal range. The values of sodium were relatively high, as expected due to the proximity to the coastal zone. Although the results of the pH of rainwater acidity show no concern, this should not be cause for relaxation, due to the explosive growth of vehicle population and the emission of pollutants by the brick industry, which are mentioned in this study.

Key words: pH rainwater values, acid rain, physicochemical analyses.

Resumen

La calidad del agua de lluvia fue monitoreada en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, en función del valor de pH. Los muestreos se realizaron en 4 puntos de la ciudad durante la temporada de lluvia del 2010. Se realizaron estudios estadísticos y comparativos de muestras de agua recogidas. Los resultados mostraron la ausencia de lluvia ácida en la ciudad (valores de $\text{pH} \leq 5$). La ciudad de Culiacán pudo dividirse en dos zonas en función de las diferencias significativas entre los valores del pH del agua de lluvia, la zona norte con un pH más alto y la zona sur con un pH más bajo. Se realizó además un análisis fisicoquímico a 2 muestras de agua de lluvia para conocer la calidad de la misma, se encontraron variaciones importantes en los valores de sulfatos y nitratos, pero dentro de rango normal. Los valores de sodio fueron relativamente altos, como era de esperar debido a la cercanía con las zonas costeras. Aunque los resultados del pH del agua de lluvia no muestran una acidez preocupante, esto no debe ser motivo de relajamiento, debido al crecimiento explosivo de la población vehicular y a la emisión de contaminantes por la industria ladrillera, los cuales son mencionados en este estudio.

Palabras clave: Valores del pH del agua de lluvia, lluvia acida, análisis fisicoquímicos.

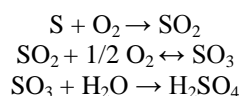
*Autores de correspondencia
Email: miguel_diaz72@hotmail.com

Introducción

La quema de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones contaminantes a la atmósfera, ya que forma sustancias tales como monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas, óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Estos dos últimos son precursores de la lluvia ácida (Wark y Warner, 2000). Las gotas de agua condensadas en la atmósfera normalmente tienen un pH cercano a 7. No obstante, el CO₂ atmosférico en dilución con el agua de lluvia forma ácido carbónico, que baja el valor de pH y tiende a un valor cercano a 5.6. Se considera que una lluvia es ácida cuando tiene un valor de pH ≤ 5 (Baird, 2001).

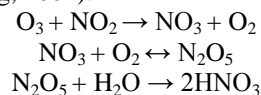
Formación del ácido sulfúrico (H₂SO₄)

El dióxido de azufre (SO₂) es un compuesto resultado de la combustión del petróleo y el carbón mineral, en los que la concentración de azufre varía desde 1 a 6 % (Masters, 1998). Las principales fuentes de emisión de SO_x son las refinerías y plantas termoeléctricas. Sin embargo, los combustibles automotrices que contienen azufre, son una fuente importante en las ciudades (Chang, 2002). Es significativa la capacidad que tiene el SO₂ para reaccionar en la atmósfera cuando existe un alto contenido de humedad, algunos óxidos metálicos reaccionan de tal modo que oxidan el azufre directamente a sulfato (Wark y Warner, 2000). En proceso genera ácido sulfúrico, las siguientes reacciones muestran su formación en la atmósfera:



Formación de ácido nítrico (2HNO₃)

El dióxido de nitrógeno (NO₂), se diluye con la humedad existente en la atmósfera y el agua de lluvia, lo que forma ácido nítrico. Entre las principales fuentes de emisión de óxidos de nitrógeno destacan los vehículos automotores y las plantas termoeléctricas. Las siguientes reacciones atmosféricas muestran la formación del ácido nítrico (Chang, 2002):



La lluvia ácida

Los efectos generados por la lluvia ácida se observan en la decoloración y caída de las hojas de los árboles, en valores bajos de pH en el agua de ríos y lagos, en lugares con suelos contaminados, puede disolver metales tóxicos provocando su lixiviación hacia los mantos freáticos. En el caso de los bosques y los campos agrícolas, es causante de la lixiviación de los nutrientes presentes en el suelo, causando que estos emigren abajo de la zona de raíz. Este fenómeno de remoción de nutrientes genera suelos infértiles (Murck *et al.*, 1995).

En el mundo existen diferentes redes de monitoreo de la lluvia ácida, los siguientes son algunos ejemplos: JARMN (Red de Monitoreo de Lluvia Ácida del Japón, Japón), CCPMN (Red de Monitoreo de la Precipitación Coleson Cove, Canadá), NADP (Programa Nacional de Depósito Atmosférico EUA), la Red de Monitoreo de Precipitación y Aire Canadiense (*The Canadian Air and Precipitation Monitoring Network*, CAPMoN), ENBPMN (Red de Monitoreo de Precipitación de New Brunswick, Canadá), y ADMNEA (Red de Monitoreo de Depósito Ácido en el Este de Asia, Asia) (SIMAT, 2012).

Redes de monitoreo atmosférico en México

La Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) es un subsistema del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT), el cual realiza mediciones permanentes de óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), partículas menores a 10 micrómetros (PM10), partículas menores a 2.5 micrómetros (PM2.5), así como deposiciones húmedas para determinar la acidez del agua de lluvia. La RAMA cuenta con 34 estaciones de monitoreo localizadas dentro del Distrito Federal y el Estado de México (SIMAT, 2012).

El Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) obtiene información continua de los contaminantes atmosféricos en el área metropolitana de Monterrey. Esta red está integrada por 8 estaciones fijas de monitoreo continuo de CO, SO₂, NO_x, ozono y PM10 y una unidad móvil. Periódicamente se analizan muestras de agua de lluvia para determinar su acidez (Gobierno del estado de Nuevo León, 2012).

La Red Automática de Monitoreo Atmosférico de Guadalajara (RAMAG) es operada por el Gobierno del Estado, a través de la Secretaría de Medio

Ambiente para el Desarrollo Sustentable (SEMADES). La red se compone de 8 estaciones automáticas en operación. Cada estación cuenta con monitores para medir SO₂, CO, NO₂, O₃, PM10 y variables meteorológicas (INE, 2012).

Según el inventario nacional de emisiones en México, durante el periodo de 1997 y 1998, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) emitió 3.1 millones de toneladas de contaminantes al año, le siguió Monterrey con casi 2 millones, Guadalajara con 1.4 millones, Cd. Juárez con un poco más de 600 mil y Toluca con casi medio millón de toneladas anuales (INE, 2006). La contribución del sector transporte es sumamente elevado en relación a la contribución que tiene el sector industrial y de servicios en todas las ciudades mencionadas.

El presente trabajo tuvo como objetivos monitorear el pH del agua de lluvia en la ciudad de Culiacán, Sinaloa y determinar la presencia del fenómeno de la lluvia ácida. Determinar si existen diferencias significativas entre los valores del pH del agua de lluvia, en función de los distintos puntos de muestreo dentro de la mancha urbana. También determinar el perfil fisicoquímico en dos muestras de agua de lluvia con el fin de cuantificar algunos parámetros de calidad del agua.

El municipio cuenta con un sector productivo enfocado a la agroindustria, el cual genera emisiones relativamente bajas de contaminantes hacia la atmósfera. Sin embargo, a ciudad no cuenta con las vialidades necesarias para atender el acelerado incremento de vehículos automotores de las últimas décadas, ni se cuenta con una regulación en cuanto al control de las emisiones contaminantes de los mismos. A su vez, existe una industria ladrillera creciente, sobre la cual no existe ningún control de parte de las autoridades gubernamentales. Esta industria es fuente importante de contaminación atmosférica.

Debido a la presencia de estas fuentes emisoras de contaminantes en la ciudad, es urgente iniciar la medición de las concentraciones de los principales indicadores de la calidad atmosférica y dar así certidumbre sobre la situación de la contaminación del aire que afecta a la ciudad. Es importante mencionar que la ciudad de Culiacán, no cuenta con estaciones de monitoreo atmosférico, lo cual dificultó la obtención de datos sobre la calidad del aire. El presente trabajo basado en la calidad del agua de lluvia en Culiacán, durante el periodo de

lluvias del año 2010.

Materiales y método

Información de la Ciudad de Culiacán

Culiacán es la capital del estado de Sinaloa, el cual se encuentra ubicado en la zona noroeste de México. La entidad es rica en valles agrícolas, litorales y zonas serranas. Colinda al norte con el estado de Sonora, al sur con Nayarit, al este con los estados de Durango y Chihuahua, al oeste con el Océano Pacífico. Culiacán como cabecera municipal, se encuentra en el centro del estado, entre las coordenadas geográficas extremas: al norte 25° 10' y al sur 24° 00' de latitud norte del Ecuador y al oeste en el meridiano 107° 43' y este en el meridiano 106° 56' de longitud oeste. Culiacán colinda con los municipios de Badiraguato y Mocorito en el norte; al sur el Golfo de California y el municipio de Elota; al este se encuentra el estado de Durango y los municipios de Elota y Cosalá; en el oeste colinda con Navolato (figura 1) (Gobierno del estado de Sinaloa, 2012).

El municipio cuenta con un territorio aproximado de 4,758 kilómetros cuadrados, cuya extensión territorial abarca el 8.2 por ciento de la superficie de todo Sinaloa (H. Ayuntamiento de Culiacán, 2012). Se localiza en un valle rodeado por cerros, el clima de Culiacán es en el verano caliente y húmedo con fuertes lluvias, mientras que en invierno su temperatura es agradable con escasas precipitaciones.

Según sea la altura sobre el nivel del mar, se presentan las características climatológicas siguientes: clima seco y caliente, con invierno y primavera secos en las partes bajas; en la zona media de la sierra, presenta un clima cálido semiseco con abundantes lluvias en verano y aisladas en invierno; en altitudes máximas se cuenta con una región cálida y húmeda con primavera seca (Gobierno del estado de Sinaloa, 2012).

Los vientos dominantes mayormente se desplazan en dirección noroeste alcanzando una velocidad aproximada de 2 metros por segundo. Según los registros del observatorio y estación climatológica de Culiacán, la temperatura promedio es de 25.5° C, máxima de 41.5° C y mínima de -6°C, la evaporación de 2,078.33 milímetros media anual. La precipitación arrojó los siguientes valores: el promedio anual de 707.9 milímetros, la precipitación máxima de 1,065.3 milímetros; la

precipitación mínima de 507.2 milímetros (Gobierno del estado de Sinaloa, 2012).

Ladrilleras en la Ciudad de Culiacán

En la Ciudad de Culiacán, la actividad ladrillera es informal, varía en producción y no se encuentra regulada (Secretaría de Desarrollo Social y Sustentable del Gobierno del Estado, 2010). Existen en el municipio aproximadamente 140 ladrilleras, de las cuales ninguna de ellas cuenta con Registro Federal de Contribuyentes (RFC), resolutive de impacto o riesgo ambiental ni tampoco con licencia de uso de suelo. Además, del total de las ladrilleras, sólo 3 se encuentran en una zona industrial, 5 en zonas de actividades primarias y el resto se realiza en zonas habitacionales, incluso dentro de los predios de las casas (Secretaría de Desarrollo Social y Sustentable del Gobierno del Estado, 2010).

El ladrillo se elabora de forma artesanal. En la elaboración de ladrillos se utilizan como materias primas arcilla, agua, troncos de árboles y aserrín. La arcilla se obtiene por medio de diferentes distribuidores ya que tiempo atrás se tomaba del mismo terreno donde se encontraba la ladrillera, pero con el paso del tiempo provocaron que los suelos se agotaran (Secretaría de Desarrollo Social y Sustentable del Gobierno del Estado, 2010).

De forma mensual, en promedio se construyen 211 hornos, todos del tipo de Campaña, utilizando la forma de alimentación con pala. En total, al mes se generan aproximadamente 4, 795,500 ladrillos (Secretaría de Desarrollo Social y Sustentable del Gobierno del Estado, 2010). La tecata (nombre coloquial de la leña) es el combustible que se utiliza en la mayoría de las ladrilleras, con un consumo aproximado de 4,074 m³ en época de estiaje (secas)

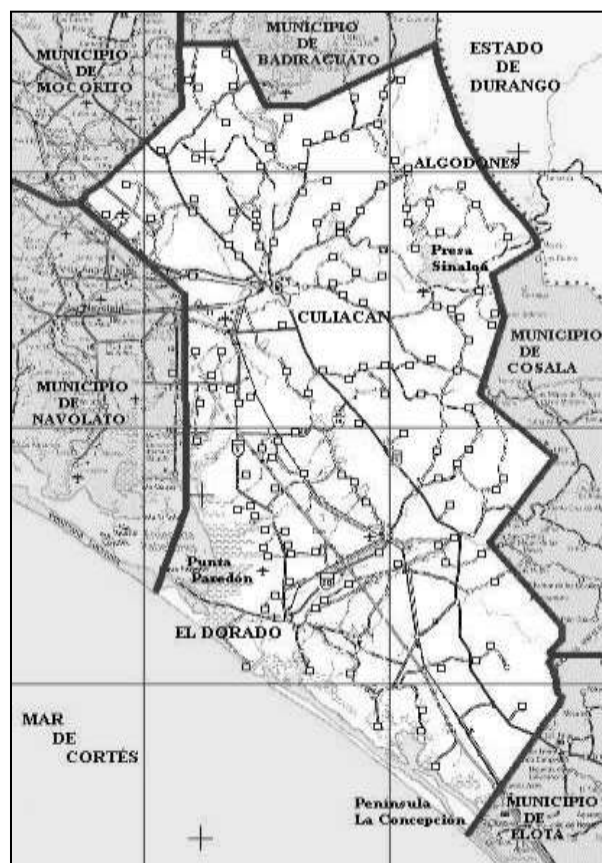


Figura 1. Mapa del Municipio de Culiacán, Sinaloa. (Fuente: Instituto Municipal de Planeación Urbana de Culiacán, IMPLAN).

y 4,200 m³ al mes en temporada de lluvias (Tabla 1) (Secretaría de Desarrollo Social y Sustentable del Gobierno del Estado, 2010).

Además de la tala clandestina de árboles, la erosión de suelos arcillosos y el deterioro de la calidad del aire, se destaca el riesgo a la salud de la población generado por las ladrilleras, tanto en su personal como para las personas que habitan en las cercanías de las mismas, debido a las sustancias tóxicas emitidas en los procesos de producción de ladrillo. Existen diversos estudios que relacionan a los contaminantes emitidos por la quema de madera utilizada como combustible con malformaciones congénitas, cáncer, problemas de fertilidad y otras graves enfermedades. A niveles suficientes de exposición pueden causar problemas de la piel, enfermedades pulmonares y cardiovasculares (Bradley, 2007).

Parque vehicular de la ciudad de Culiacán

El municipio de Culiacán tuvo en 1980 un total de 44,080 vehículos registrados y para finales del año 2010 la cifra había crecido hasta 396,148 vehículos (Dirección de vialidad y transportes, Gobierno del Estado de Sinaloa). De 1980 al 2010, el parque vehicular creció casi 9 veces. Este crecimiento explosivo implica graves problemas de contaminación atmosférica ya que estos vehículos son una fuente de emisión de gases y partículas. Comparando el número de habitantes en la ciudad de Culiacán contra el número de vehículos, en 1990

había aproximadamente 1 automóvil por cada 7 personas. El censo poblacional más reciente data de 2010, donde la población fue de 858,638 personas. Comparando esta población con el número de vehículos registrados del 2010, significa que había un automóvil por cada 3 personas, aproximadamente (Tabla 2) (INEGI, 2012). Se debe aclarar que este registro no cuantifica los automóviles que han entrado al país de forma irregular y para los que no existe un padrón en la ciudad que permita estimar su cantidad.

Estudio de la calidad del aire en la Ciudad de Culiacán, Sinaloa

En marzo de 2007, el Instituto Nacional de Ecología (INE), realizó un estudio sobre la calidad del aire en la Ciudad de Culiacán. El objetivo fue conocer la concentración de los contaminantes criterio (dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, partículas PM-10 y PM-2.5 y ozono) (INE, 2007). Se utilizó la unidad móvil no. 3 (UM-3) para monitoreo atmosférico, de la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, DGCENICA. La UM-3 fue instalada en el estacionamiento del Jardín Botánico Culiacán, en un periodo de monitoreo de 20 días (INE, 2007). Realizando un sencillo análisis estadístico se obtuvo el percentil, promedios horarios, máximos y mínimos con el fin de obtener percepciones futuras o tendencias del comportamiento de los contaminantes (Tabla 3).

Tabla 1. Tipo de combustible utilizado en los hornos de campaña. (Fuente: Secretaría de Desarrollo Social y Sustentable del Gobierno del Estado).

Ubicación de la ladrillera	Tecata (corteza)		Aceite gastado		Diesel	
	Lluvia m ³	Seco m ³	Lluvia (l)	Seco (l)	Lluvia (l)	Seco (l)
Los Mezcales	1205	1190	0	0	5	5
Las Cucas	505	444	0	0	10	10
Los Alamitos	530	440	0	0	0	0
Ampliación Loma de Rodriguez	125	115	0	0	0	0
Loma de Rodriguera	1740	1705	0	0	0	0
Ejido Pitahayita	15	15	0	0	0	0
Quila	0	95	0	0	0	0
Ejido La Campana	80	70	0	0	0	0
Totales	4200	4074	0	0	15	15

Tabla 2. Relación entre la cantidad de vehículos y la cifra poblacional en Culiacán

Año	Núm. de habitantes	Núm. de vehículos	Personas por unidad de vehículo
1990	601126	82805	7
2000	745537	157647	5
2010	858638	304148	3

Tabla 3. Resultados del estudio por parámetro (Fuente: INE, 2007).

Variable	T (°C)	Humedad relativa (%)	Oxido Nítrico (ppb)	Dióxido de Nitrógeno (ppb)	Óxidos de Nitrógeno (ppb)	Ozono (ppb)	Dióxido de azufre (ppb)	Monóxido de carbono (ppm)	PM25 (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)
Máximo	34	99.6	131	50	165	91	11	9.2	121	-
Mínimo	13.9	22.3	1	3	5	0	0	0.2	11	-
Prom. del periodo	23.8	58.1	15	18.4	32.6	23	2.7	1.2	40.5	-
% de registros obtenidos	65	65	65	65	65	64	64	65	13	-

La concentración de los NO_x debieron su comportamiento a la dinámica vehicular de la ciudad. A partir de las 06:00 horas aumentaron las concentraciones de óxido nítrico hasta lograr un promedio máximo de 46 ppb cerca de las 9:00 horas. Por la noche los niveles se incrementan de nuevo después de las 18:00 hrs., consiguiendo un máximo de 54 ppb alrededor de las 23:00 hrs, siendo este un valor mayor al matutino debido a la acumulación de gas producto de la ausencia de la reacción fotoquímica en la atmósfera. Por su parte el monóxido de carbono y el dióxido de azufre, ambos de igual forma relacionados con la actividad vehicular, mostraron un comportamiento similar en los promedios horarios (INE, 2007).

Medición de la deposición húmeda

Se realizó un programa de muestreo y análisis de la calidad del agua de lluvia, teniendo como parámetro de estudio el pH según la Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2000. El procedimiento que se utiliza para medir el pH de agua de lluvia se presenta a continuación, y se requiere los siguientes materiales:

1. Un recipiente de vidrio o plástico transparente, de preferencia con boca ancha y con capacidad mínima de medio litro,
2. Potenciómetro manual
3. Un vaso pequeño de vidrio o plástico

Procedimiento

El estudio se llevó a cabo en 4 distintos puntos de muestreo dentro de la ciudad de Culiacán. Se colocaron recipientes en el exterior de cada sitio de muestreo (pudo ser el techo, patio o el jardín de una casa), la altura mínima del recipiente desde la superficie (piso o techo) fue de un metro, con el fin de evitar que el agua de lluvia que golpeará la

superficie del suelo, salpicara dentro del recipiente y lo contaminara con partículas de polvo, etc. Además, se tomó en cuenta que en el viaje del agua de lluvia no tuviera contacto con postes, ramas de árbol, cables o algún otro objeto, para así evitar su posible contaminación, tal como se describe en la metodología para muestreo manual para deposición húmeda de la Red Automática de Monitoreo Ambiental (RAMA, 1994).

Luego de la ocurrencia de un fenómeno de lluvia, se pasó el agua a un vaso pequeño de 100 ml. Se midió in situ el pH por medio de potenciómetros manuales. Se seleccionaron 9 muestras de cada uno de los 4 puntos, en función de su fecha de recolección, buscando que no hubieran varios días de diferencia entre cada toma. Se contabilizaron 36 muestras analizadas en total. También se llevaron a cabo dos pruebas de perfil físico químico del agua de lluvia, donde se analizaron la presencia de sulfatos, nitratos y fosfatos, así como de Cu, Ca, Cl, Na, Fe, Mg y Mn.

La figura 2 presenta la localización de los 4 puntos de muestreo: el punto A, en el fraccionamiento Issstesin (zona norponiente), el punto B en la Colonia Montebello (zona centro-sur), el punto C, se localizó en el fraccionamiento Los Ángeles (zona nororiental), y el punto D, en la Colonia Lázaro Cárdenas (zona sur).

Se realizó un análisis de estadística descriptiva, un análisis de variancia de un factor (One way ANOVA) (Hines y Montgomery, 2010), así como una prueba de barrido (Test de recorrido múltiple de Duncan) (Miller y Freund, 1987), con el fin de determinar si existieron diferencias significativas entre las medias del valor del pH de lluvia de las muestras tomadas para los distintos puntos.

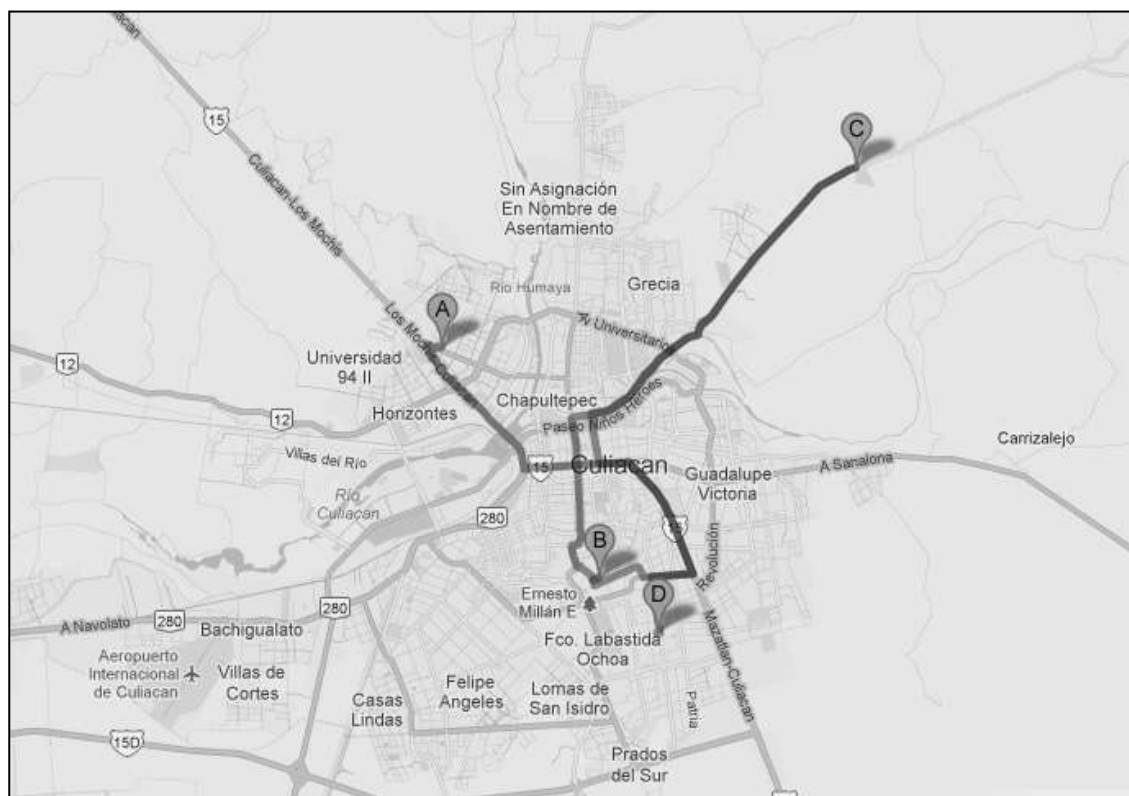


Figura 2. Puntos de muestreo de la Ciudad de Culiacán, Sinaloa. (Fuente: google maps).

Resultados y discusión

La tabla 4 muestra los valores del pH del agua de lluvia para los 4 sitios de muestreo, así como el promedio y desviación estándar. Se observa que los valores del pH que se registraron en las zonas sur y centro-sur (Colonia Lázaro Cárdenas y Fraccionamiento Montebello, respectivamente) fueron los más bajos. En ambos puntos se alcanzaron valores de $\text{pH} < 6$, alcanzando la medición más baja el valor de 5.33. En el caso de las zonas nor-oriental y nor-poniente (fraccionamiento Los Ángeles e Issstesin, respectivamente) alcanzaron los valores más altos ($\text{pH} > 7$). En el fraccionamiento Los Ángeles se registraron 4 valores de pH mayores o iguales a 7, y en el fraccionamiento Issstesin se reportaron 5 valores. En cuestión de la variabilidad, el punto de muestreo Los Ángeles registro la mayor variación de valores de pH, y la zona con menos variación fue el fraccionamiento Issstesin.

La tabla 5 muestra que los puntos ubicados al sur y

centro-sur de la ciudad obtuvieron los valores medios más bajos de pH, y que entre estos dos puntos no había una diferencia significativa. En las zonas norte y norte-oriental, se obtuvieron las media más altas y entre estos no existieron diferencias significativas.

Esta información dividió a la ciudad en dos: la zona norte con un valor promedio de pH más alto y la zona sur con un pH más bajo. En base a los resultados se descartó el fenómeno de lluvia ácida para la ciudad ($\text{pH} \leq 5$). Sin embargo, dos muestras presentaron valores de $\text{pH} \leq 5.5$, ambos en las zonas sur y centro-sur. Es evidente la necesidad de monitorear el pH del agua de lluvia los siguientes años para comprender el comportamiento de este fenómeno en la ciudad.

Perfil físico-químico a muestras de agua de lluvia

Como parte complementaria se realizó un análisis detallado a 2 muestras de agua de lluvia, para conocer la calidad de la misma. Las tablas 6 y 7 muestran los resultados de dichos análisis.

Tabla 4. Registro de valores del pH del agua de lluvia para los 4 puntos de muestreo, así como promedio y desviación estándar.

	Lazaro C.	Los Angeles	Montebello	ISSSTESIN
	5.60	7.5	6.81	7.02
	6.29	7.0	6.02	7.00
	6.70	6.7	5.72	6.80
	5.83	7.7	5.59	6.90
	5.50	7.7	5.33	6.89
	6.29	6.4	6.42	7.09
	6.10	6.4	5.64	7.08
	6.37	6.5	6.72	7.04
	6.20	6.5	6.61	6.92
Promedio	6.0978	6.9333	6.0956	6.9711
Desv. Estandar	0.3870	0.5590	0.5552	0.0984

Tabla 5. Resultados del análisis de variancia de un factor y del Test de recorrido múltiple de Duncan para las muestras tomadas para los 4 puntos de muestreo.

Sector	Ubicación	Valor de pH	Significancia
Fracc. ISSSTESIN	Zona norte	6.97111±0.09841 ^a	b
Fracc. Los Angeles	Zona norte-oriente	6.9333±0.55901	b
Lazaro Cardenas	Zona sur	6.0977±0.38696	a
Fracc. Montebello	Zona centro-sur	6.0956±0.55520	a ^b

^a ±1 desviación estándar

^b los valores de pH con distinta letra, son significativamente diferentes para un valo de P<0.05 de acuerdo con el de Duncan

Tabla 6. Resultados de análisis en Fe, Cu, Ca, Mg, Zn, Mn y K en agua de lluvia.

Muestra	Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Zn (mg/l)	Mn (mg/l)	K (mg/l)
19-ago. 2010	0.061	0.014	1.143	0.38	0.046	0.018	1.832
15-ago. 2010	0.019	0.012	3.999	0.682	0.143	0.006	7.346

Tabla 7. Resultados de análisis Na, CO₃, HCO₃, Cl, NO₃, SO₄ y PO₄ en agua de lluvia.

Muestra	Na (mg/l)	CO ₃ (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	Cl (meq/l)	NO ₃ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)
19-ago. 2010	3.282	0	0.18	0.82	0.036	0.038	0.311
15-ago. 2010	5.937	0	0.26	0.79	0.281	0.018	0.387

La muestra con fecha 19/ago/2010 fue tomada en el fraccionamiento Los Ángeles y la muestra con fecha 15/ago/2010 fue tomada en la colonia Montebello. Los valores del sulfato y nitrato variaron enormemente de una muestra a otra y no hay conclusiones que se puedan extraer de ellos. Tomando como referente el estudio de Root et al. (2004), la geografía aparentemente no es un factor determinante para la concentración de estos aniones, sino más bien las condiciones climatológicas y de emisión de contaminantes.

Los valores de NO₃ y SO₄ resultaron relativamente bajos, comparados con el estudio de Root et al., donde el rango de SO₄ va desde no detectable hasta 5.88 mg l⁻¹ y el de NO₃ varía desde no detectable hasta 8.16 mg l⁻¹. Cabe destacar que la muestra de

NO₃ tomada en el fraccionamiento Montebello fue mayor casi 8 veces que la del fraccionamiento Los Ángeles, mientras que para el caso del SO₄, la muestra tomada en el fraccionamiento Los Ángeles fue poco más del doble que la muestra tomada en Montebello.

El sodio presentó una variación del 80% en la concentración en las dos muestras. Ambas presentaron concentraciones relativamente elevadas, debido posiblemente a la cercanía de Culiacán con las zonas costeras, ya que el agua de lluvia adquiere su contenido de sodio de los grandes cuerpos de agua salada. Los valores de los demás parámetros son relativamente bajos. Se debe mencionar que el calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg) y manganeso (Mn) provocan una reacción buffer,

reduciendo el efecto de la acidez del agua de lluvia.

Conclusiones

Se consideró importante determinar la presencia del fenómeno de la lluvia ácida en la ciudad de Culiacán. Se buscó información referente a la calidad del aire de la ciudad y se llegó a la conclusión de que prácticamente no había datos al respecto. Solamente se encontró un estudio de la calidad del aire de la ciudad de Culiacán, el cual fue focal, por un tiempo relativamente corto y refutablemente localizado en una zona relativamente baja en carga vehicular (jardín botánico). También se recolectó información del comportamiento del crecimiento poblacional, así como de dos fuentes emisoras de contaminantes en la ciudad de Culiacán: los vehículos automotores y las ladrilleras. Se observó un crecimiento explosivo en el parque vehicular que implica futuros problemas atmosféricos en la ciudad. En el caso de las ladrilleras, no existió un control o regulación para esta industria, la cual genera emisiones contaminantes a la atmósfera, tala clandestina de árboles y erosión de suelos.

El problema de la lluvia ácida no se presentó en la ciudad, ya que no existieron valores de $\text{pH} \leq 5$ en las muestras analizadas. Esto no debe ser motivo de relajamiento, ya que las condiciones podrían cambiar debido al crecimiento vehicular mencionado en este estudio. La ciudad de Culiacán pudo dividirse en dos en función de los valores de pH del agua de lluvia, la zona norte con un pH más alto y la zona sur con un pH más bajo, esto en base a la información obtenida de los 4 puntos de muestreo. Los análisis fisicoquímicos de 2 muestras de agua de lluvia, mostraron variaciones importantes en los valores de sulfatos y nitratos, pero dentro de un rango normal. Los valores de sodio fueron relativamente altos, como era de esperar debido a la cercanía con las zonas costeras. Es evidente la falta de un programa de monitoreo permanente de la calidad del aire, debido al explosivo crecimiento del parque vehicular de las últimas décadas.

Bibliografía

Baird C. 2001. Química Ambiental. Editorial Reverté. España.
Bradley F.J. 2007. Efecto genotóxico y a la salud en personal expuesto a contaminantes emitidos por ladrilleras en Durango, México, Tesis de maestría, Centro

interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional, Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional.
Chang R. 2002. Fundamentos de Química. McGraw Hill. Séptima edición, ISBN 970-10-3894-0, México.
Gobierno del Estado de Nuevo Leon (2012) Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA), http://www.nl.gob.mx/?P=med_amb_mej_amb_sima&m4=true, 02/02/2012.
Gobierno del Estado de Sinaloa. 2012. Información del municipio de Culiacán, 10/03/2012. <http://www.sinaloa.gob.mx/index.php/municipios/culiacan/informacion-general>
Hines W. W., Montgomery D. C. 2010. Probabilidad y estadística para ingeniería. Cuarta Edición. Grupo editorial Patria.
H. Ayuntamiento de Culiacán. 2010. "Nuestro Municipio", Pagina Oficial del Honorable Ayuntamiento de Culiacán, Sinaloa, 15/03/10 <http://culiacan.gob.mx/culiacn-topmenu-78/municipio-topmenu-149>
INE. 2006. Inventario Nacional de Emisiones Contaminantes en México 1999, Instituto Nacional de Ecología, ISBN: 968-817-749-6, México.
INE. 2007. Estudio de la calidad del aire en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, Dirección de investigación en monitoreo atmosférico y caracterización analítica de contaminantes, Instituto Nacional de Ecología,
INE. 2012. Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, Instituto Nacional de Ecología, http://sinaica.ine.gob.mx/rama_guadalajara.html, 02/03/2012
INEGI. 2012. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y GEOGRAFIA, 10/03/2012, www.inegi.org.mx
Masters G. M. 1998. Introduction to Environmental Engineering and Science, Prentice Hall, ISBN 0-13-155384-4, USA.
Miller I., Freund J.E. 1987. Probabilidad y Estadística Para Ingenieros, Prentice Hall.
Murck, B. W., Skinner B. J., Porter S. P. 1995. Environmental Geology, Ed. Wiley, ISBN-10: 0471303569, USA.
RAMA. 1994. Programa Precipitaciones Ácidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México Informe Anual 1994, Red Automática de Monitoreo Ambiental (RAMA)-Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación GDF.
Root E., Jones W., Schwarz B., Gibbons J. 2004. Rainwater chemistry across the United States, the Carleton College Geology Department, USA.
Secretaría de Desarrollo Social y Sustentable del Gobierno del Estado. 2010. "Diagnóstico Situacional de la Industria Ladrillera y Cerámica de Sinaloa", Informe técnico, Febrero del 2010.
SIMAT. 2012. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México, 12/02/2012, www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php
Wark K., Warner C. F. 2000. Contaminación del aire, origen y control, Ed. Limusa, México.