

## Lluvia ácida

### Introducción

El término lluvia ácida fue utilizado por primera vez por Robert Angus Smith, quien investigaba la química del aire de las industrias británicas en 1850. Los molinos de algodón y las poderosas industrias pesadas que funcionaban gracias al carbón, vertían grandes cantidades de humo a la calle. Smith demostró que estas fábricas hacían emisiones directas al aire de hollín y sustancias que cambiaban la química de la lluvia haciéndola más ácida. Al final de 1950 fueron detectados los resultados de esta contaminación proveniente de las industrias por el incremento que presentó en la atmósfera, haciéndose evidente por el efecto adverso en los bosques. Aunque esta forma de contaminación es comúnmente conocida como lluvia ácida, el término más adecuado es deposición ácida, porque la acidez puede ser liberada como gas o como polvo, y estas partículas son arrastradas a la tierra por medio de la lluvia (Hendrey y Vertucii, 1980; Last y Nichoison, 1982; Torres y Galván, 1999).

Por mucho tiempo se pensó que el problema de la lluvia ácida era consecuencia, en gran parte, de los gases ricos en azufre producidos por la quema de algunos combustibles fósiles (especialmente de carbones de pobre calidad) y por la fundición de minerales metálicos. Ahora sabemos que esta descripción está muy lejos de ser así de simple (Miranda *et al.*, 2009; Fleischer *et al.*, 1993).

El estudio de los compuestos de azufre suele limitarse al gas dominante, el bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), que es el más perjudicial para las plantas. Las principales fuentes emisoras son la combustión de combustibles fósiles, la descomposición e incineración de materia orgánica, los volcanes y los aerosoles marinos. El  $\text{SO}_2$  se oxida fácilmente en la atmósfera y se convierte en  $\text{SO}_3$ , un gas muy reactivo que reacciona con el agua y da ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), uno de los principales responsables de la lluvia ácida, fenómeno que ha causado importantes daños en las masas forestales y en los ecosistemas (Newman, 1995).

Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) se producen de procesos tales como la actividad bacteriana del suelo, las erupciones volcánicas, los relámpagos y la combustión de combustibles fósiles, tanto en fuentes estacionales como en automóviles. El bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) puede transformarse en la atmósfera en ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), responsable, junto al ácido sulfúrico, de la lluvia ácida (Last y Nichoison, 1982).

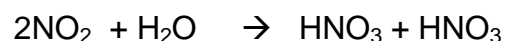
Cuando estos contaminantes se combinan con vapor de agua, luz solar y oxígeno en la atmósfera, crean una "sopa" diluida de ácidos sulfúrico y nítrico. Una vez que esta mezcla es arrastrada por las lluvias, o en forma de partículas secas, aumenta la acidez de los lagos y arroyos de agua dulce (y en algunos casos del suelo), reduciendo así el valor de su pH. La escala pH mide la acidez y la alcalinidad. Una solución con un pH 7 es neutra, cualquier valor superior es alcalino y los valores inferiores son ácidos. Es una escala logarítmica, por lo que cada entero es

equivalente a un factor de 10. Así, un pH 6 es diez veces más ácido que un pH neutro, y un pH 5 cien veces más (Blank *et al.*, 1988).

La controversia acerca del efecto de la deposición ácida surgió cuando crecieron las concentraciones de ésta en los lagos, ríos y bosques. En algunas regiones fuertemente industrializadas, los gases de cloruro de hidrógeno liberados a la atmósfera producen ácido clorhídrico, que también puede ser un componente de lluvia ácida. Por todo ello, los ambientalistas han hecho un exitoso debate al hacer de la lluvia ácida un asunto de interés nacional e internacional (Minoura, y Iwasaka. 1996).

### **Génesis de la lluvia ácida**

**Ciclos del ácido atmosférico.** El bióxido 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 ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), los óxidos de nitrógeno en ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y el bióxido de carbono en ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). 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<sub>2</sub> y el NO<sub>2</sub>, 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 diluyen en vapor de agua, para anualmente caer a la tierra en forma de lluvia ácida, nieve y niebla, fenómeno que se conoce como deposición húmeda. La lluvia ácida se forma a través de las siguientes reacciones fotoquímicas (Kotz *et al.*, 2008):



El agua de lluvia no contaminada, considerada agua pura, tiene un pH de 5.6, pero raramente llueve agua pura. Incluso en regiones no sometidas a contaminación industrial, la humedad atmosférica se ve expuesta a cantidades variables de ácidos de origen natural; de este modo las precipitaciones tienen un pH de alrededor de 5. Sin embargo, en las regiones que se extienden alrededor de

centros de actividad humana, y que pueden llegar a cientos de kilómetros, el pH de la precipitación es más bajo, de 3.5 a 4.5 o aun menor ocasionalmente (Mohnen, 1988; Minoura, y Iwasaka. 1996).

La precipitación húmeda es más conocida por ser la causante de la acidificación en el medio, dejando muchas veces a un lado las precipitaciones secas. Este tipo de deposición tiene lugar cuando los compuestos gaseosos precursores de la lluvia ácida entran en contacto con el vapor de agua, la luz y el oxígeno de la atmósfera, y se forma una mezcla de ácido sulfúrico y ácido nítrico. Después de estos procesos y de estas reacciones catalíticas iniciadas en forma fotoquímica en la atmósfera, esta mezcla viaja muchos kilómetros, precipitándose y cayendo al medio en forma de deposición húmeda. El ácido producto de este proceso, se deposita en solución en el terreno y los vegetales durante las precipitaciones atmosféricas. El proceso de generación de las precipitaciones ácidas húmedas sigue, entonces, dos etapas:

## [Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente](#)

**Rev. Chapingo vol.16 no.2 Chapingo jul./dez. 2010**

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-32312010000200009&lng=pt&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-32312010000200009&lng=pt&nrm=iso&tlng=es)