

## Contaminación atmosférica y deposición húmeda en la Amazonia brasileña

### Air pollution and wet deposition in Brazilian Amazon

Dr. Alejandro Fonseca Duarte,<sup>I</sup> Dra. Adriana Gioda,<sup>II</sup> Dra. Roberta Ziolli,<sup>III</sup>  
MSc. Daniele Duó<sup>II</sup>

<sup>I</sup> Universidade Federal do Acre (UFAC). Distrito Industrial Rio Branco. Brasil.

<sup>II</sup> Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio). Rio de Janeiro. Brasil.

<sup>III</sup> Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO). Rio de Janeiro, Brasil.

---

#### RESUMEN

**Objetivo:** determinar la influencia de contaminantes atmosféricos sobre el agua de lluvia.

**Métodos:** utilización de la deposición húmeda en un estudio de largo plazo, realizado en el Estado de Acre, Amazonia Occidental, 2005-2010. Se monitorearon 185 eventos de lluvia, se determinó en ellos el pH, la conductividad eléctrica y la concentración de carbono orgánico total. Se monitoreó la carga de aerosoles atmosféricos mediante fotometría solar y las condiciones meteorológicas a través de mediciones del vapor de agua, temperatura, vientos y lluvias en su comportamiento estacional.

**Resultados:** la concentración de contaminantes según la profundidad óptica de aerosoles varió desde valores muy altos, entre 3 y 4 durante la seca, hasta valores muy bajos, aproximadamente de 0,08, durante la estación lluviosa. El 25 % de las lluvias fue ácida con pH entre 3 y 4,7 y un promedio de 5,4. Los valores de conductividad eléctrica generalmente fueron inferiores a 10  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . El carbono orgánico total alcanzó valores relativamente altos, entre 20 y 30  $\text{mg L}^{-1}$ .

**Conclusiones:** durante la seca los incendios forestales responden por la alta contaminación de la atmósfera, que queda limpia durante la estación lluviosa por efecto de la deposición húmeda. Durante la seca la carga de aerosoles atmosféricos aumenta en más de 40 veces, en comparación con el estado de la atmósfera en la estación lluviosa. Son necesarias medidas más eficientes de control de la degradación ambiental en la Amazonia y de monitoreo sistemático de la contaminación de su atmósfera, en beneficio de la salud humana y de otras formas de vida.

**Palabras clave:** contaminación ambiental, química de la atmósfera, selva amazónica.

---

## ABSTRACT

**Objective:** to determine the influence of air pollutants on the rainwater.

**Methods:** use of wet deposition in a long-term study conducted in the state of Acre, in Western Amazon, from 2005 to 2010. One hundred and eightyfive rainy events were monitored to determine the pH value, the electrical conductivity and the concentration of total organic carbon. The atmospheric aerosol load was measured by solar photometry whereas the water vapors, temperature, winds and rains were monitored to observe weather conditions.

**Results:** the pollutant concentration, depending on the aerosol optical depth, varied from very high values of 3 and 4 during the dry season, to very low values of about 0.08 during the rainy season. Twenty five percent of rainfalls were acidic with pH ranging 3 to 4.7, being 5.4 the average value. The electrical conductivity values were generally lower than  $10 \mu\text{S cm}^{-1}$ . The total organic carbon reached relatively high values of 20 to  $30 \text{ mg L}^{-1}$ .

**Conclusions:** in the dry season, the forest fires are responsible for high degree of air pollution, but the situation changes in the rainy season when the environment is clean because of the wet deposition. During the dry season, the air aerosol load increases 40 times if compared to the environmental conditions in the dry season. Therefore, more efficient control measures are needed to stop environmental degradation in the Amazon as well as a systematic monitoring of the air pollution for the benefit of human health and other forms of life.

**Keywords:** environmental pollution, atmospheric chemistry, Amazon forest.

---

## INTRODUCCIÓN

La deposición húmeda se hace presente en el ciclo de nutrientes y en la distribución de contaminantes entre los ecosistemas. Muchas de las sustancias que llegan a la atmósfera reaccionan entre sí y con el agua. Los productos resultantes de esas interacciones son arrastrados por las lluvias como disoluciones o partículas insolubles.

En Acre existen dos estaciones: la lluviosa, que se extiende de octubre a abril, con promedio de 1 635 mm de lluvia; y la seca, que comprende los meses de junio a agosto, con promedio de 126 mm.<sup>1</sup> Mayo con 93 mm y septiembre con 104 mm, son meses de transición entre las estaciones.

---

La deposición húmeda puede provocar desequilibrios en la composición y propiedades del suelo e influir directa o indirectamente sobre la vegetación y la salud humana. También puede causar cambios en las propiedades químicas de los cursos de agua y sus sedimentos.<sup>2</sup>

El carbono orgánico en la atmósfera proviene de la descomposición de la materia orgánica de origen vegetal, animal y de otras formas de vida, y también de procesos fisiológicos. Los procesos involucrados son naturales o inducidos por la degradación antrópica de los ecosistemas. La deposición húmeda global de partículas de carbono orgánico fue estimada en 187 Tg por año.<sup>3</sup> En un estudio sobre arrastre de sustancias por las lluvias en la región tropical venezolana, se encuentra que una fracción significativa (25 %) de los aerosoles insolubles que precipitan sobre el lago Valencia corresponden a material orgánico.<sup>4</sup> Un estudio realizado en Rondônia, Amazonia, durante la transición de la estación seca a la estación lluviosa de 2002, muestra que los aerosoles de carbono de diámetro medio inferior a  $1 \mu\text{S cm}^{-1}$  corresponden a emisiones antrópicas y reducen su concentración en 20 veces con la llegada de la temporada lluviosa, mientras que los aerosoles de carbono de diámetro medio superior a  $1 \mu\text{S cm}^{-1}$  proceden de emisiones biogénicas y mantienen su concentración casi constante.<sup>5</sup>

Una importante función de los aerosoles de carbono orgánico reside en su fracción soluble, que contribuye a la actividad de los núcleos de condensación de nubes (NCN).<sup>6</sup> El material orgánico también forma compuestos solubles e insolubles en unión con iones metálicos y no metálicos.<sup>7</sup>

Las especies nitrogenadas tienen gran importancia para los ecosistemas y para el clima. Ellas pueden actuar como NCN. La deposición de nitrógeno representa la mayor entrada de nutrientes en la biosfera.<sup>8</sup> El nitrógeno atmosférico en exceso en las regiones tropicales proviene de los incendios forestales que ocurren durante la estación seca. Dichos incendios también emiten compuestos de carbono. Por otro lado, las actividades de corte, incluso el corte selectivo, asociado al manejo forestal, contribuyen a las emisiones de óxido nítrico, óxido nítrico, metano y dióxido de carbono.<sup>9</sup> Tales emisiones favorecen la precipitación de lluvia ácida.

En Brasil, ha sido detectada lluvia ácida en Rondônia,<sup>10</sup> Paraná,<sup>11</sup> Rio Grande do Sul,<sup>12</sup> Acre<sup>13</sup> y en otras partes del país; lo que demuestra el interés en los estudios de contaminación del aire en las regiones metropolitanas y en la Amazonia. Las selvas tropicales sufren daños que afectan la salud humana y a los ecosistemas y contribuyen al cambio climático.

El objetivo de este trabajo es determinar la influencia de la contaminación atmosférica sobre el agua de lluvia.

## MÉTODOS

Se colectaron 185 muestras de agua de lluvia en un lugar representativo de la Amazonia Occidental, en el Estado de Acre, coordenadas  $9^{\circ} 57' \text{ S}$  y  $67^{\circ} 52' \text{ W}$ , para su caracterización en cuanto a acidez, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD) y carbono orgánico total (COT). Los estudios fueron realizados en la Amazonia Occidental entre 2005 y 2010.

Se utilizó un colector para muestreo de lluvias (*Precipitation Sampler Eigenbrodt NSA 181/KD*, Alemania) destinado a experiencias de deposición solamente húmeda. Este

equipo funciona automáticamente para apertura y cierre del embudo colector de agua y para la conservación de las muestras refrigeradas. El embudo es de polietileno, acoplado a un divisor de agua que permite que el líquido penetre, a la vez, en dos vasijas plásticas de un litro: una de ellas con conservante timol, para evitar la proliferación de algas y bacterias y la otra sin conservante. De la muestra con timol y de la muestra sin conservante se separaron alícuotas de 50 mL para mediciones de pH, de CE y de STD. Una alícuota, mezclada con cloruro de mercurio, se mantuvo refrigerada, destinada a análisis de COT. Los frascos de las muestras se envolvieron con papel aluminio durante su almacenamiento en frío.

Las determinaciones de pH, de CE y de STD, se realizaron mediante un medidor Orion 3-Star (*Thermo Scientific*, EE. UU.). En la determinación de los STD ( $\text{mg L}^{-1}$ ) a partir de la CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), se aplicó el factor de conversión 0,49 seleccionado por el propio instrumento para el caso de mediciones en agua de lluvia.

Para los análisis de COT, se empleó el equipo TOC-V CPH/CPN (SHIMADZU, Japón). La técnica usada es independiente del estado de oxidación del carbono y no sufre la interferencia de otros átomos ligados a la estructura orgánica, de ahí que cuantifica solamente el carbono presente en la muestra. Esa técnica utiliza la oxidación catalítica a alta temperatura. La concentración de COT no se obtiene directamente por el equipo, sino a partir de la diferencia entre la concentración de carbono total y de carbono inorgánico. Para el análisis de las muestras de lluvia, se prepararon dos curvas analíticas: una para carbono inorgánico utilizando carbonato de sodio y otra para carbono total usando biftalato de potasio. Ambas curvas se prepararon con cinco puntos a partir de una solución de  $1 \text{ g L}^{-1}$  de concentración. El coeficiente de variación de las inyecciones triplicadas fue inferior a 2 %. El límite de detección se fijó en tres veces la desviación estándar de los blancos, y fue de  $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$  para carbono inorgánico y de  $2,3 \mu\text{g L}^{-1}$  para carbono total.

Las vasijas plásticas, previamente lavadas, se utilizaron en una única colecta y después, se descartaron. Las partes en contacto con la lluvia, como el embudo y el divisor de agua del colector, se lavaron con agua destilada después de cada evento de lluvia. En los períodos sin lluvia, el embudo permaneció cerrado, protegido de la deposición seca y de cualquier contaminación.

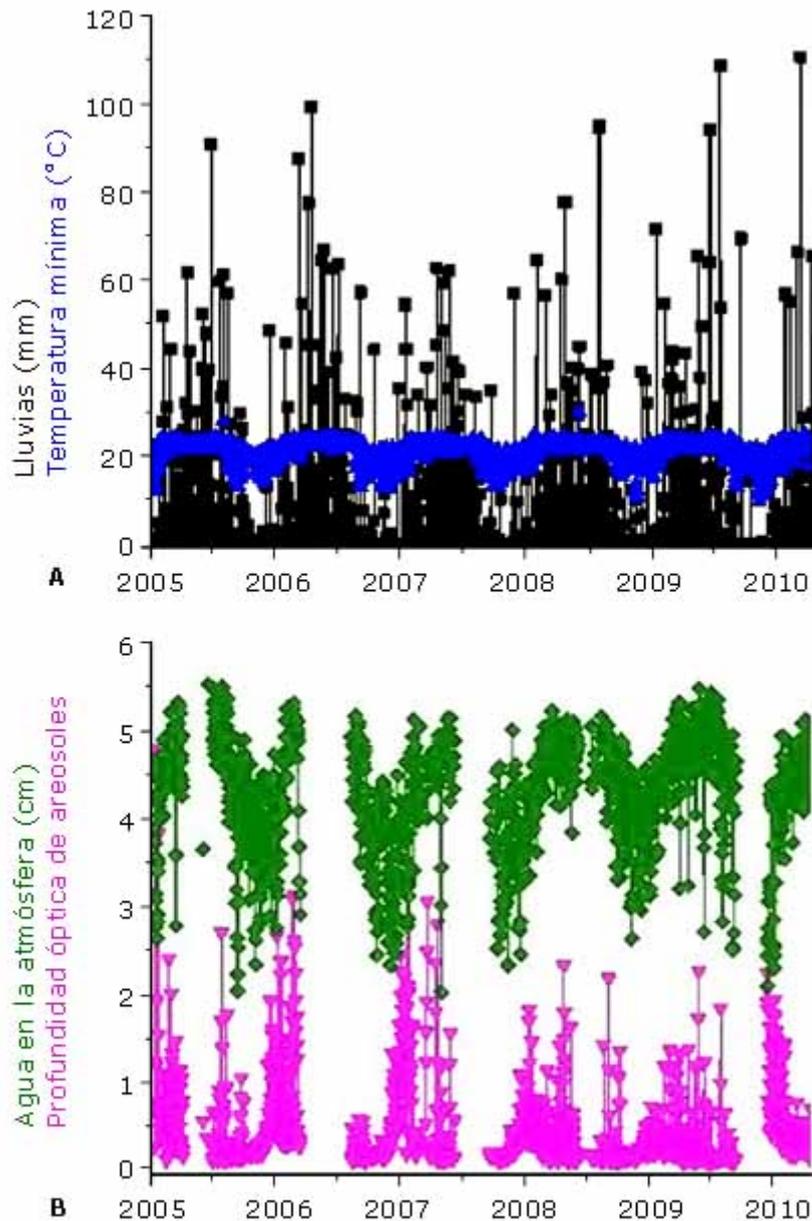
Cada lluvia se presenta como un evento individual no repetible, dependiente de las condiciones atmosféricas locales, regionales y globales.

Las informaciones sobre vapor de agua en la atmósfera (WV), trayectorias de los vientos y profundidad óptica aerosoles ( $\text{AOT}_{500}$ ), se obtuvieron de los registros del Laboratorio de Fotometría Solar<sup>14</sup> situado en la Universidad Federal de Acre (UFAC), en Rio Branco. La  $\text{AOT}_{500}$  es una medida adimensional de la presencia de aerosoles, obtenida de la atenuación de la radiación solar de 500 nm de longitud de onda a su paso por la atmósfera. Las observaciones sobre la cobertura de nubes y focos de incendios se obtuvieron de imágenes de satélite MODIS.<sup>15</sup>

## RESULTADOS

### LLUVIAS Y CONTAMINACIÓN

En la figura 1 aparece el comportamiento de las lluvias (puntos negros), la temperatura mínima (puntos azules), el WV (puntos verdes) y la AOT<sub>500</sub> (puntos rosados).

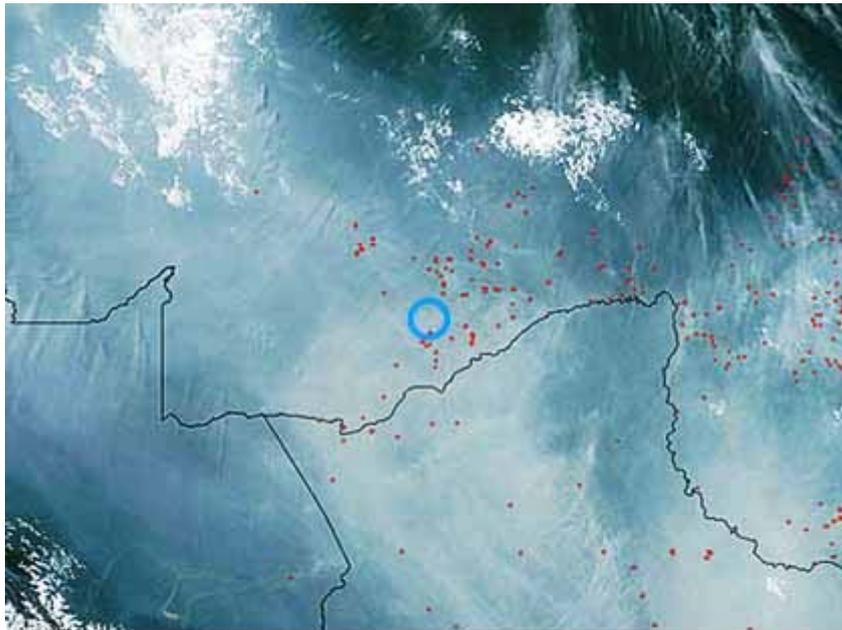


**Fig. 1. A)** Correspondencia estacional de las lluvias (en negro), la temperatura mínima (en azul); **B)** agua en la atmósfera, WV (en verde) y la profundidad óptica de aerosoles, AOT<sub>500</sub> (en rosado); entre 2005 y 2010.

Las 185 muestras de lluvia colectadas se distribuyeron por períodos así (eventos, mm): de septiembre a diciembre de 2005 (17; 218), en diciembre de 2006 (5; 62),

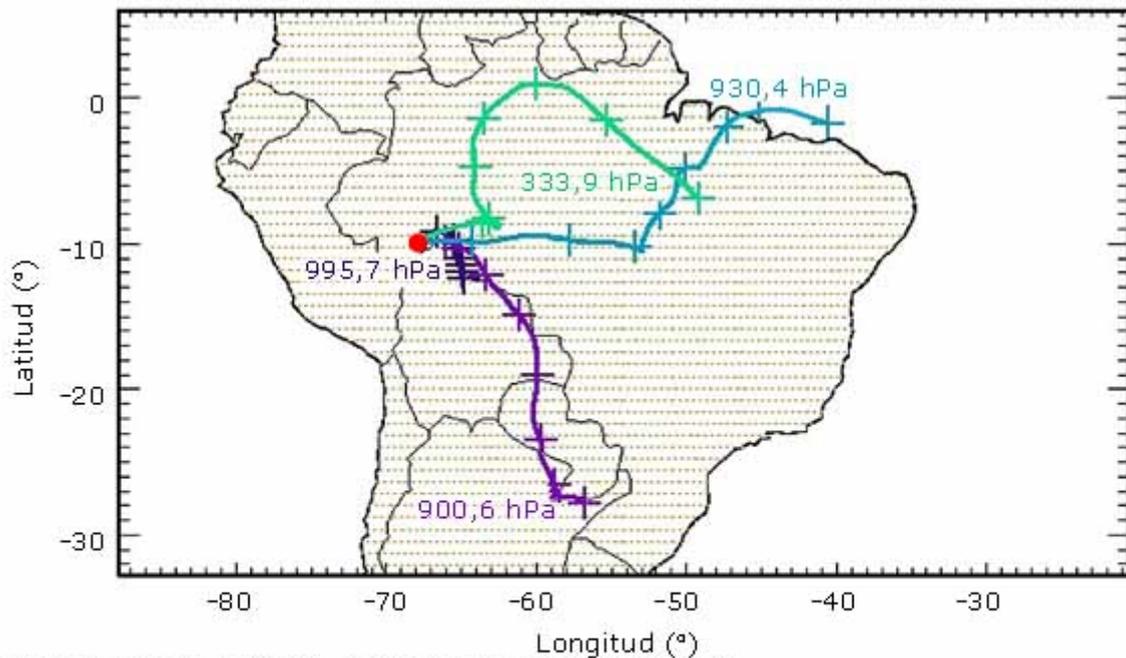
de enero a diciembre de 2007, 2008, 2009 y 2010; (37; 935), (44; 994), (49; 759) y (33; 661), respectivamente. El 5 % tuvo valor superior a 50 mm y el 75 %, inferior a 30 mm. La época más seca del año se centró en julio, cuando las temperaturas mínimas fueron de 10 °C, aproximadamente; asociado con esto, el WV llegó a tener valores por debajo de 2 cm, entre agosto y septiembre y los valores de AOT<sub>500</sub>, por encima de 3, sobretudo en septiembre, lo que reflejó la gran contaminación atmosférica. En la estación lluviosa el WV superó los 5 cm y los valores de AOT<sub>500</sub> se aproximaron a 0,08.

Las figuras 2 y 3 ejemplifican los focos de quemas, el humo en la atmósfera y las trayectorias de los vientos convergentes para Rio Branco (círculo azul), que diseminan la contaminación y transportaron sales marinas.



Fuente: Satélite MODIS-Terra, 21 de Septiembre de 2005, 14:40 GMT.

**Fig. 2.** Imagen de focos de quemas (puntos rojos), humo y nubes, referidos a Rio Branco (círculo azul).

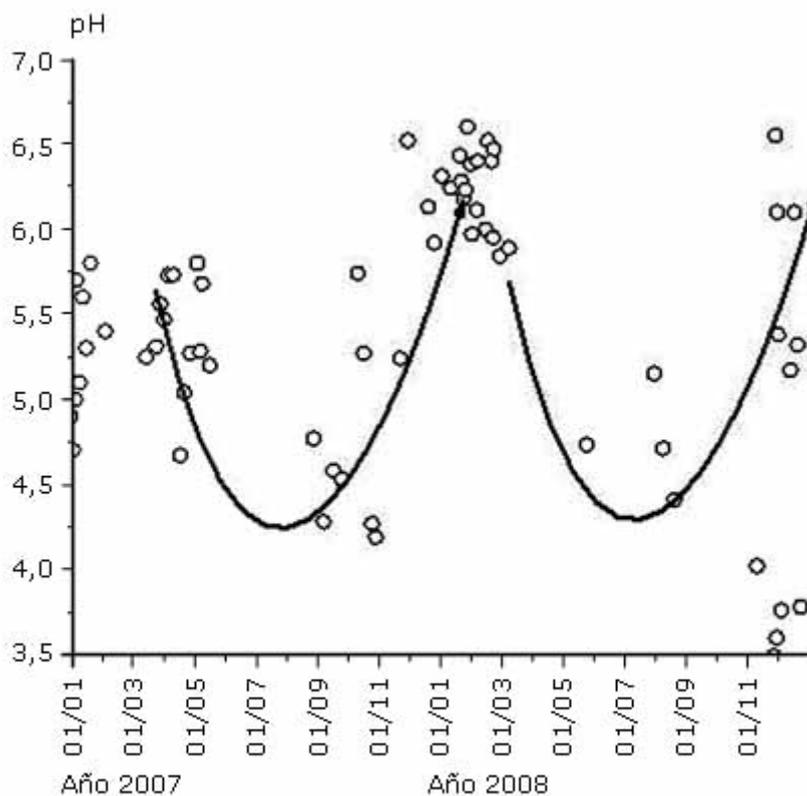


Fuente: Aeronet, NASA, 21 de Septiembre de 2005, 0 GMT.

**Fig. 3.** Ejemplo de trayectorias de los vientos hacia Rio Branco (punto rojo). Vientos de superficie (líneas violeta y azul; presión atmosférica entre 900 y 1 000 hPa) y de altitud superior a 5 km (línea verde; presión atmosférica en torno de 330 hPa).

#### ACIDEZ, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Los valores de pH variaron de 2,7 a 8,5 siendo el valor medio de 5,4. Los eventos de lluvia ácida con valores de pH inferiores a 4,7 fueron 46 (25 %), y 111 (60 %) tuvieron valores inferiores a 5,6. Los valores de pH aparentaron ser mínimos entre julio y agosto, según la figura 4, referente a 2007 y 2008.

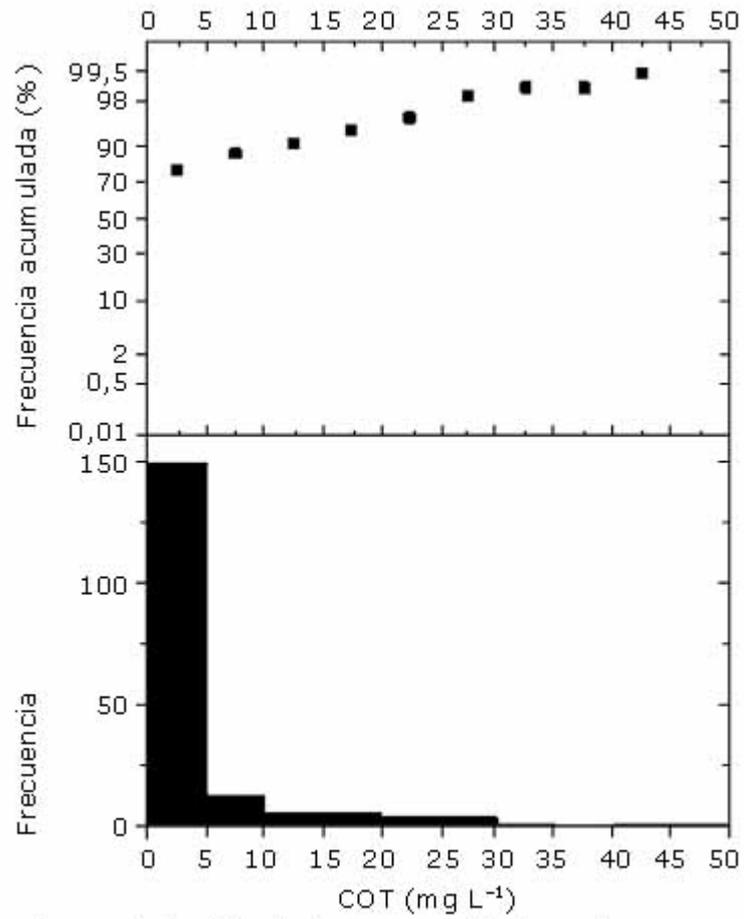


**Fig. 4.** Comportamiento del pH de las lluvias durante los años 2007 y 2008.

Se observó una gran dispersión de los valores de CE (STD) entre 2 y 50  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (1 y 25  $\text{mg L}^{-1}$ ), sin evidencia de estacionalidad (tabla). El 95 % de las lluvias tuvo valores de CE (STD) por debajo de 20  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (10  $\text{mg L}^{-1}$ ); el 80 %, por debajo de 7,5  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (3,6  $\text{mg L}^{-1}$ ); y el 66 %, inferior a 5  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (2,5  $\text{mg L}^{-1}$ ).

#### CARBONO ORGÁNICO TOTAL

Las concentraciones de COT variaron entre 0,1  $\text{mg L}^{-1}$  y 49  $\text{mg L}^{-1}$ , para una media de 4,2  $\text{mg L}^{-1}$ . La mayoría se agrupó por debajo de 5  $\text{mg L}^{-1}$  y el 75 % de las muestras tenía valor inferior a 3,2  $\text{mg L}^{-1}$ . Los valores de 5 a 30  $\text{mg L}^{-1}$  tuvieron lugar entre septiembre de 2005 y agosto de 2008. La distribución de valores de COT está dada en el histograma de la figura 5. Se nota que en algunas fechas los valores de COT son muy altos, como aparece en la tabla.



**Fig. 5.** Distribución de la concentración de carbono orgánico total (COT) en las lluvias entre 2005 y 2010.

**Tabla.** Valores altos de COT en la deposición húmeda y los correspondientes valores de pH, CE y STD

Fecha	Lluvias (mm)	pH	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	STD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	COT ( $\text{mg L}^{-1}$ )
5/12/2005	11,5	4,8	3,6	1,8	23,87
6/12/2005	12,3	4,9	4,5	2,2	18,44
16/12/2005	3,0	5,5	3,2	1,6	30,05
10/12/2006	2,0	5,2	3,7	1,8	12,12
22/12/2006	15,0	5,2	4,7	2,3	19,89
29/12/2006	20,8	4,9	7,8	3,8	19,67
18/1/2007	33,3	5,8	4,5	2,2	22,59
1/4/2007	10,2	5,5	3,0	1,5	28,91
5/4/2007	9,9	5,7	2,5	1,2	25,81
27/4/2007	40,1	5,3	2,3	1,1	13,18
16/9/2007	61,7	4,6	14,5	7,1	16,08
24/9/2007	3,0	4,5	18,4	9,0	21,81
10/10/2007	5,6	5,7	9,4	4,6	21,19
21/11/2007	35,8	5,2	3,5	1,7	17,45
7/12/2007	4,8	7,6	4,5	2,2	42,77
20/2/2008	0,3	6,4	1,6	0,8	18,18
6/3/2008	2,3	7,1	4,6	2,3	48,89
8/3/2008	39,6	5,9	3,1	1,5	28,16
30/5/2008	4,1	8,5	2,4	1,2	28,18

COT: carbono orgánico total, CE: conductividad eléctrica, STD: sólidos totales disueltos.

## DISCUSIÓN

La contaminación atmosférica tiene una fuerte contribución del humo de los incendios forestales. El tiempo de permanencia de la contaminación se prolonga por varias semanas hasta que los gases y aerosoles son arrastrados por las precipitaciones de la transición a la estación lluviosa. Aerosoles de procedencia marina también llegan a la Amazonia. *Forti* y otros,<sup>16</sup> demuestran que la presencia de sales marinas en la deposición húmeda en regiones de la Amazonia es apreciable y puede corresponder al 50 % de la que es medida en el litoral. Por otro lado, arenas provenientes de África también son transportadas por los vientos hasta la Amazonia.<sup>17</sup> Hay estudios que sugieren que esas arenas aumentan significativamente la concentración de COT en la lluvia y en las nubes de la América Central.<sup>18</sup>

En el Estado de Rondônia,<sup>19</sup> al Este de Acre, durante una campaña de experimentación, también se obtienen valores de pH inferiores a 5,6, y de CE entre 2 y 25  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . En una región selvática, en Teresópolis, Rio de Janeiro, área litoral de Brasil, los valores de pH medidos en la deposición húmeda oscilan entre 4,50 y 6,85 y los de CE, en torno de 7,2  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .<sup>20</sup> La CE medida en muestras de agua de lluvia colectadas en Londrina, Estado de Paraná, muestran valores máximos de hasta 243

$\mu\text{S cm}^{-1}$ ,<sup>11</sup> muy superiores a los observados en este trabajo, regularmente, inferiores a  $20 \mu\text{S cm}^{-1}$ .

Existen condiciones ambientales diferentes en las regiones litorales, metropolitanas e industrializadas, que se reflejan en la observación de valores inferiores de pH y mayores de CE, en comparación con los medidos en la Amazonia, en particular, los obtenidos en este trabajo.

Por otro lado, en Ribeirão Preto, São Paulo, una región donde ocurren quemas en la cosecha de la caña de azúcar, la CE del agua de lluvia medida entre 2002 y 2005 tiene valores entre 2 y  $110 \mu\text{S cm}^{-1}$  y casi el 75 % de los casos tiene valores inferiores a  $20 \mu\text{S/cm}$ .<sup>21</sup> En otras ciudades del mundo, como es el caso de una ciudad industrial del nordeste de México, fueron registrados valores altos de pH de las lluvias, entre 5,4 y 8,5;<sup>22</sup> lo que se atribuye al efecto neutralizador de las elevadas concentraciones de iones de calcio y de magnesio en la atmósfera local.

En ciudades y áreas experimentales de selva, en los Estados Unidos, el COT se deposita con la lluvia durante todo el año, no obstante, sus concentraciones durante el verano, son tres veces mayores que durante el invierno;<sup>23</sup> las concentraciones observadas, en este caso, oscilan entre 0,45 y  $4,87 \text{ mg L}^{-1}$ , lo que significa que corresponden con los valores más probables divulgados en este trabajo, entre 0 y  $5 \text{ mg L}^{-1}$ .

Las redes de monitoreo de la calidad del agua de lluvia no son comunes, existen, por ejemplo, en los Estados Unidos<sup>24</sup> y en Europa, y su estructuración en otras regiones constituye un desafío importante para la realización de estudios sobre medio ambiente y salud.

En síntesis, el valor medio de pH de las lluvias en el contexto amazónico considerado fue de 5,4 y el 25 %, eventos de lluvia ácida con valores de pH entre 3 y 4,7. Los STD determinaron, regularmente, valores de CE inferiores a  $10 \mu\text{S cm}^{-1}$ . La concentración de COT removido de la atmósfera por la lluvia llegó a alcanzar valores relativamente altos, entre 20 y  $30 \text{ mg L}^{-1}$ . Sin embargo, la mayoría de las veces la concentración de COT no pasó de  $5 \text{ mg L}^{-1}$ . Era de esperarse una acentuada estacionalidad del comportamiento de las variables estudiadas, en primer lugar porque durante la estación seca ocurren las intensas quemas forestales en la Amazonia y durante la estación lluviosa la atmósfera se limpia mediante la deposición desde el inicio de esa temporada. Una medida de la contaminación durante la seca y de su remoción durante la estación lluviosa es la reducción de la  $\text{AOT}_{500}$  desde valores muy altos, entre 3 y 4, hasta valores muy bajos, aproximadamente de 0,08. Estos resultados se suman a las evidencias de la necesidad de medidas más eficientes de control de la degradación ambiental de la Amazonia y de monitoreo sistemático de la contaminación de su atmósfera en beneficio de la vida en el planeta.

## AGRADECIMIENTOS

A *Teresa da Silva Carneiro*, Técnica del Laboratorio de Hidroquímica de la Universidad Federal de Acre.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Duarte AF. Aspectos da climatologia do Acre, Brasil, com base no intervalo 1971-2000. *Revista Brasileira Meteorologia*. 2006;21(3b):308-17.
2. Martinkova M, Hesse C, Krysanova V. The possible regional impact of climate change on water quality: eco-hydrological modeling in the Jizera Basin (Czech Republic). *Geophysical Res Abstracts*. 2010;12(EGU13906):1.
3. Jurado E, Dachs J, Duarte CM, Simó R. Atmospheric deposition of organic and black carbon to the global oceans. *Atmos Environm*. 2008;42(34):7931-9.
4. Lewis WM. Precipitation chemistry and nutrient loading by precipitation in a tropical watershed. *Water Resouces Res*. 1981;17(1):169-81.
5. Decesari S, Fuzzi S, Facchini MC, Mircea M, Emblico L, Cavalli F, et al. Characterization of the organic composition of aerosols from Rondônia, Brazil, during the LBA-SMOCC 2002 experiment and its representation through model compounds. *Atmospheric Chem Phys*. 2006;6:375-402.
6. Saxena P, Hildemann L. Water-soluble organics in atmospheric particles: A critical review of the literature and application of thermodynamics to identify candidate compounds. *J Atmos Chem*. 1996;24(1):57-109.
7. Falkovich AH, Graber ER, Schkolnik G, Rudich Y, Maenhaut W, Artaxo P. Low molecular weight organic acids in aerosol particles from Rondonia, Brazil, during the biomass-burning, transition and wet periods. *Atmos Chem Phys*. 2005;5:781-97.
8. Trebs I, Metzger S, Meixner FX, Helas G, Hoffer A, Rudich Y, et al. The NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Cl<sup>-</sup> - SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - H<sub>2</sub>O aerosol system and its gas phase precursors at a pasture site in the Amazon Basin: How relevant are mineral cations and soluble organic acids? *J Geophys Res*. 2005;110(D7):1-18.
9. Keller M, Varner R, Dias JD, Silva H, Crill P, de Oliveira RC, et al. SoilAtmosphere Exchange of Nitrous Oxide, Nitric Oxide, Methane, and Carbon Dioxide in Logged and Undisturbed Forest in the Tapajos National Forest, Brazil. *Earth Interactions*. 2005;9(23):1-28.
10. Artaxo P, Gatti LV, Leal AMC, Longo KM, Freitas SRd, Lara LL, et al. Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amazônica*. 2005;35(2):185-96.
11. Pelicho AF, Solci MC. Avaliação da composição química das precipitações atmosféricas através da amostragem integrada e seqüencial. Londrina-PR: Universidade Estadual de Londrina; 2004.
12. Migliavacca DM, Teixeira EC, Gervasoni F, Conceição RV, Rodriguez MTR. Characterization of wet precipitation by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) in the metropolitan area of Porto Alegre, Brazil. *J Hazardous Mat*. 2009;171:230-40.
13. Guedes EV, Duarte AF. Fundamentação metodológica e primeiros estudos sobre deposição úmida em Rio Branco. Acre, Brasil: Universidade Federal do Acre; 2007.

14. AERONET. Aerosol Robotic Network. [cited 2005 Sept 21]. Available from: <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>
15. MODIS. Moderate Res Imag Spectr. [cited 2005 Sept 21]. Available from: [http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets /index.php?subset=AERONET\\_Rio\\_Branco](http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets /index.php?subset=AERONET_Rio_Branco)
16. Forti MC, Melfi AJ, Astolfo R, Fostier AH. Rainfall chemistry composition in two ecosystems in the northeastern Brazilian Amazon (Amapá State). *J Geophysical Res.* 2000;105(D23):28895.
17. Ben-Ami Y, Koren I, Rudich Y, Artaxo P, Martin ST, Andreae MO. Transport of North African dust from the Bodélé depression to the Amazon Basin: a case study. *Atmos Chemi Phys.* 2010;10(16):7533-44.
18. Gioda A, Mayol-Bracero OL, Reyes-Rodriguez GJ, Santos-Figueroa G, Collett JL. Water-soluble organic and nitrogen levels in cloud and rainwater in a background marine environment under influence of different air masses. *J Atmos Chem.* 2008;61:85-99.
19. Artaxo P. Interações Físicas e Químicas entre a biosfera e a atmosfera da Amazônia no experimento LBA. Contract No.: 97/11358-9. São Paulo: FAPESP; 1999.
20. Rodrigues RR, Mello WZ, Souza PA. Aporte atmosférico de amônio, nitrato e sulfato em área de floresta ombrófila densa montana na Serra dos Órgãos, RJ. *Química Nova.* 2007;30(8):1842-8.
21. Coelho CH, Campos MLAdM. Deposição atmosférica de espécies químicas em Ribeirão Preto, uma importante cidade canavieira do estado de São Paulo. Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo; 2007.
22. Ramírez Lara E, Miranda Guardiola R, Gracia Vásquez Y, Balderas Rentería I, Bravo Álvarez H, Sosa Echeverría R, et al. Chemical composition of rainwater in northeastern México. *Atmósfera.* 2010;23:213-24.
23. Likens GE, Edgerton ES, Galloway JN. The composition and deposition of organic carbon in precipitation. *Tellus.* 1983; 35B:16-2
24. Cowling EB. A Narrative History of the Origins and Early Development of the National Atmospheric Deposition Program. Madison, Wisconsin: North Carolina State University, 2008.

Recibido: 4 de enero de 2013.

Aprobado: 19 de marzo de 2013.

*Alejandro Fonseca Duarte.* Departamento de Ciências da Natureza. Universidade Federal do Acre (UFAC), BR 364, Distrito Industrial. CEP: 69.920-900. Rio Branco, AC, Brasil.

Dirección electrónica: [fd.alejandro@gmail.com](mailto:fd.alejandro@gmail.com)