

LLUVIAS ÁCIDAS Y ACIDIFICACIÓN EN LOS PINARES DE ALTURAS DE PIZARRA, ESTACIÓN AMISTAD

ACID RAINS AND ACIDIFICATION IN THE PINEGROVES OF HEIGHT OF SLATE AMISTAD STATION

DR. ARIEL T. PLASENCIA-PUENTES,¹ DRA. C. YILIAN MOREJÓN,² DR. ANTONIO ESCARRÉ-ESTEVE,³ ING. ARSENI RENDA-SAYOUX,⁴ M.Sc. YOLANIS RODRIGUEZ-GIL,⁴ TÈC. MANUEL ARTEAGA-GONZÁLEZ,¹ TÈC. DIONISIO CRUZ-DELGADO,¹ DR. JOSÉ L. PERALTA-VITAL⁵ E ING. YACIEL MARTINEZ-PÉREZ¹

¹ Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Estación Experimental Agro-Forestal Viñales. Km 20, Carretera a Viñales, Pinar del Río, Cuba, vinales@forestales.co.cu, telef: 793123

² Dirección Provincial Suelos y Fertilizantes. Ave. a Borrego Final, Hermanos Cruz, Pinar del Río, Cuba

³ Universidad de Alicante, Alicante, España

⁴ Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. UCTB Investigación e Innovación Tecnológica. Calle 174 no. 1723 e/17 B y 17 C, Siboney, Playa, La Habana, Cuba

⁵ Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones. Km 2½, Carretera La Victoria II, Guanabacoa, La Habana, Cuba

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la Estación Amistad con el objetivo de evaluar las lluvias ácidas y su relación con los procesos de acidificación de los suelos. Las observaciones de deposición total de las precipitaciones muestran un porcentaje mayoritario de número de lluvias, con valores por debajo de 5,6 de pH (78,2 %) y el 74,8 % en volumen de lluvias como ácidas. Adicionalmente se caracterizaron las aguas de escurrimiento superficial y se determinó la relación de la acidez de las lluvias con la existencia de un proceso de acidificación de los suelos, mostrando un valor de incremento de (0,102 keq • ha⁻¹ año, es decir, kilo equivalente/ha/año) de iones hidrógeno. Social y ambientalmente tiene un impacto muy positivo el monitoreo de estas lluvias ácidas, ya que permite minimizar los efectos nocivos en caso de un incremento de sus concentraciones, lo que incide directamente en la defoliación de nuestros bosques y cultivos en general.

Palabras claves: *lluvias ácidas, escurrimiento superficial, acidificación.*

INTRODUCCIÓN

En una gran mayoría de las experiencias de gestión en microcuencas, como las que aparecen en la recopilación de Bosch y Hewlett (1982), se hace un seguimiento únicamente de los volúmenes de precipitación y escurrimiento,

ABSTRACT

The present work was developed in the Amistad Station in order to evaluating the acid rains and its relationship with the soil acidification processes. The observations of total deposition of the precipitations, show a majority percentage in days of rains, with values below 5,6 of pH (78,2 %) and the (74,8 %) in rain volume, as acid. Additionally the surface runoff waters were characterized and the relationship of the acidity of the rains was determined with the existence of a soil acidification process; showing an increment value of (0,102 keq • ha⁻¹ year) of ions hydrogen. Social and environmentally the monitoring of these acid rains has a very positive impact, because it allows to minimize the noxious effects in the event of an increment of their concentrations, what impacts directly in the defoliation of our forests and cultivations in general.

Key words: *acid rains, runoff surface, acidification.*

En el diseño de los objetivos de la Estación Amistad se consideró desde el principio el gran interés que tendría poder estimar el escurrimiento sólido y también valorar la influencia que las experiencias de manejos silvícolas pudieran tener en la calidad del agua. Sin embargo, no se incluyó el seguimiento de los aportes químicos de la precipitación, los cuales son muy relevantes en la concepción teórica del «ecosistema cuenca» que se llevó a cabo en la Estación Experimental de Hubbard Brook [Likens *et al.*, 1977].

El panorama sobre las características de la deposición atmosférica que se resume, López (2006) y la misma constatación de la evolución del pH de los arroyos durante el período de estudio aconsejó la instalación de un colector de deposición total, durante unos meses, para poder realizar, conjuntamente con otras dos estaciones en la provincia de Pinar del Río [Morejón, 2009], un seguimiento de los valores del pH de la lluvia, analizados en cada evento

lluvioso; con el objetivo de evaluar la presencia de lluvias ácidas y la acidificación en los pinares de altura de pizarra Estación Amistad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Estación Experimental Forestal Hidrológica Amistad. El área experimental (*Fig. 1*) está ubicada en la parte superior de la cuenca del río San Diego, en las coordenadas geográficas 22°45' de latitud norte y 83°30' de longitud oeste, con una altura entre los 95 y 135 msnm. La topografía es accidentada y típica para el sistema montañoso de la provincia de Pinar del Río; las pendientes predominantes en las subcuencas se encuentran en el rango del 9 al 40 %. El suelo, según estudios realizados por Calzadilla *et al.* (1978), es del tipo ferralítico cuarcítico amarillo rojizo-lixiviado, encontrándose diferenciación solamente al nivel de especie y variedad, dado por su profundidad total y el contenido de gravas en sus horizontes.

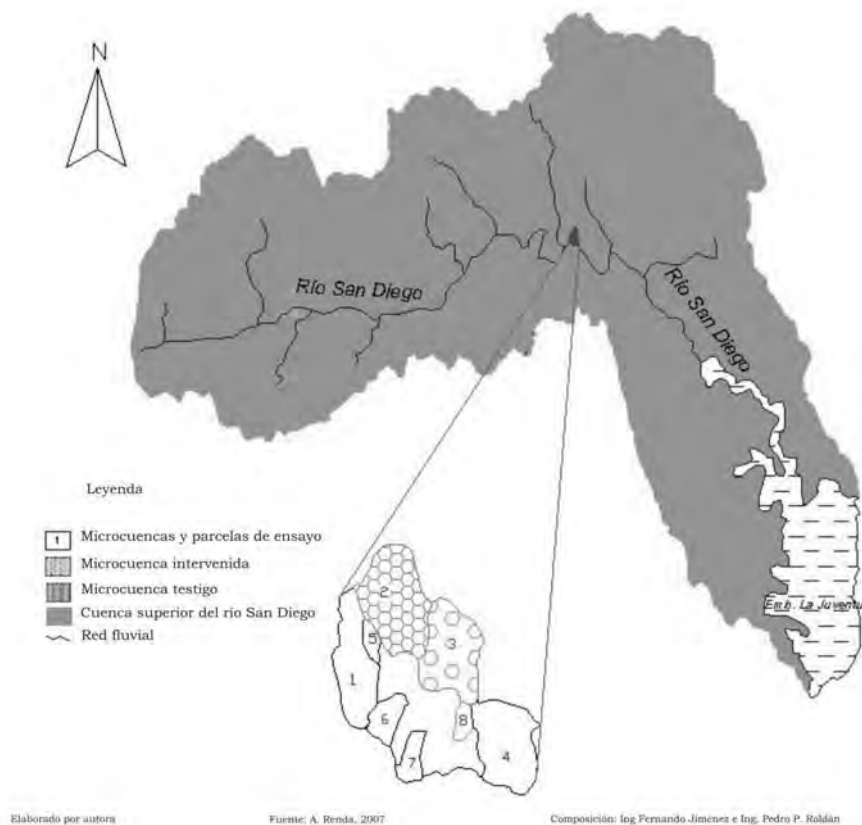


Figura 1. Localización del área experimental.

Muestreo escurrimiento superficial

El diseño experimental de la Estación Amistad se realizó con la aproximación de las microcuen-

cas pareadas (Lee, 1980), donde se selecciona una microcuenca control (C2) para comparar con las microcuencas tratadas C1, C3 y C4.

Las muestras de agua de las subcuencas de la Estación Amistad se tomaron de las corrientes antes de que estas lleguen al remanso (aguas arriba del vertedor), o sea, fuera de la zona de presión. El seguimiento analítico se realiza de forma mensual, para lo cual se utilizan botellas de cristal con la capacidad de un litro. Para cada una de estas muestras de agua se determinan las características cuantitativas del escurrimiento iónico y se determinaron ocho parámetros químicos (pH, conductividad, concentraciones de HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+).

Muestreo de la deposición total de las lluvias ácidas

Con el fin de complementar la información ya existente sobre la lluvia ácida en Cuba, se decidió realizar muestreos puntuales de deposición global en la Estación Hidrológica Forestal Amistad, en la ciudad de Pinar del Río, y en la Estación Meteorológica de La Palma [Morejón, 2009], durante el período 2003-2006. A cada muestra recolectada después de cada evento meteorológico se le determinó el valor de pH utilizando el peachímetro digital del tipo micro pH 2000, Crison. Los pluviómetros o colectores utilizados para recolectar las muestras de lluvia permanecieron expuestos permanentemente en lugares abiertos, con el objetivo de recibir muestras de deposición total.

Para el calibrado de las diferentes subcuencas se aplicó un análisis de regresión lineal, así como para el comportamiento del pH, calcio,

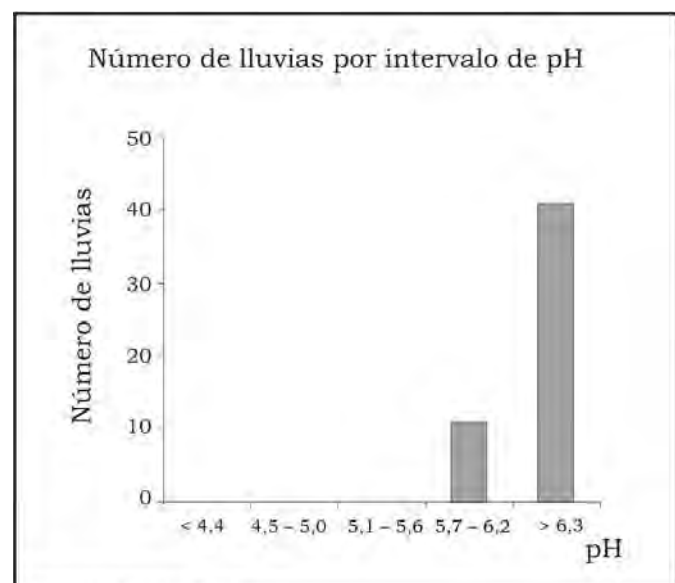
magnesio y sulfato respecto al tiempo en la subcuenca. Para la evaluación de los datos se realizó un análisis de estadístico de regresión lineal, utilizando el paquete estadístico Infostat Software versión (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

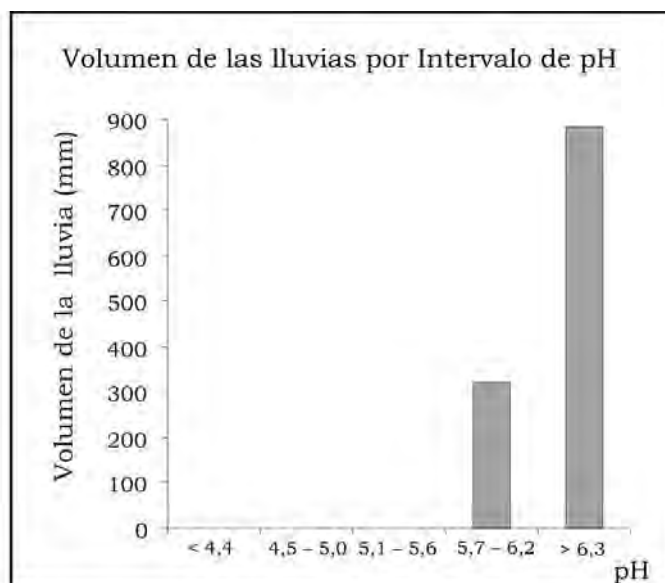
Muestreo de la deposición total de las lluvias ácidas

Para el caso de la Estación Hidrológica Forestal Amistad, el número total de muestras de deposición global recolectadas fue de 87, en el intervalo de tiempo que va desde el 17 de septiembre de 2003 hasta el 12 de febrero de 2006. El punto exacto de muestreo en la ciudad de Pinar del Río se ubica al este, en el reparto 10 de Octubre. El número de eventos lluviosos muestreados fue de 53, durante el período comprendido entre enero y octubre de 2006. La Estación Meteorológica de La Palma se ubica en el municipio del mismo nombre, al norte de la provincia de Pinar del Río, y se llevó a cabo el muestreo de 35 lluvias durante la época comprendida entre mediados de marzo y octubre de 2006 [Morejón, 2009].

En las *Figs. 2 a 7* aparecen representados los histogramas de número de lluvias y volúmenes de precipitación, por intervalos de pH, con el valor de 5,6 elegido como límite, para poder separar las lluvias que se consideran ácidas de las que no.



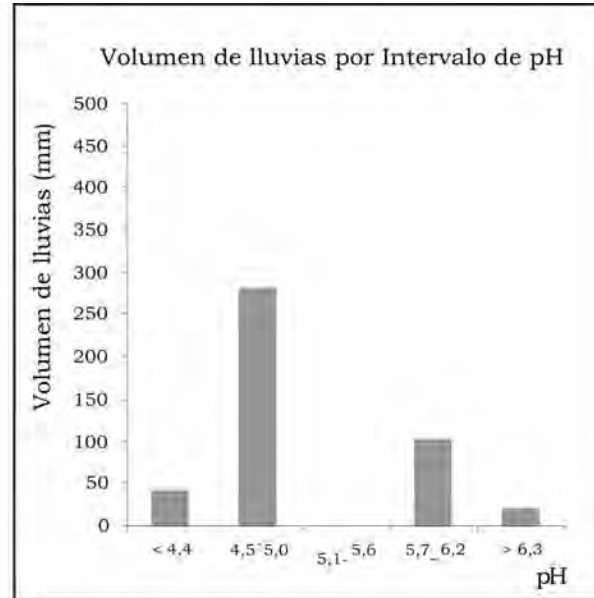
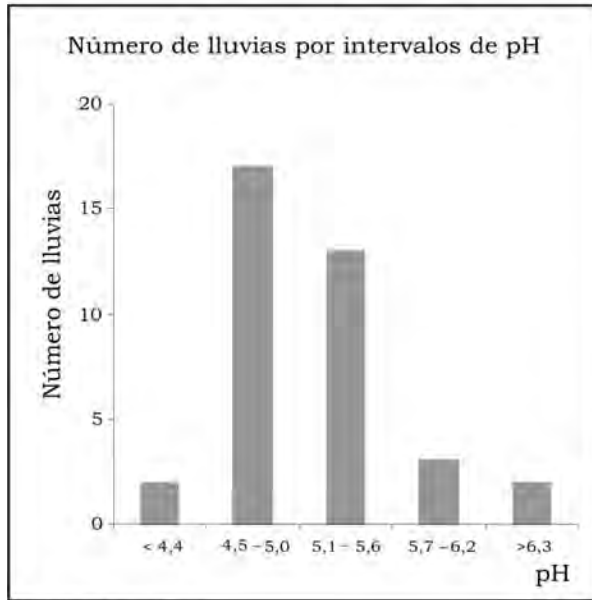
Elaborado por Plasencia, 2014



Figuras 2 y 3. Representación gráfica de los números de lluvias y volúmenes de precipitación que corresponden a los diversos intervalos de pH, en la ciudad de Pinar del Río [Morejón, 2009].

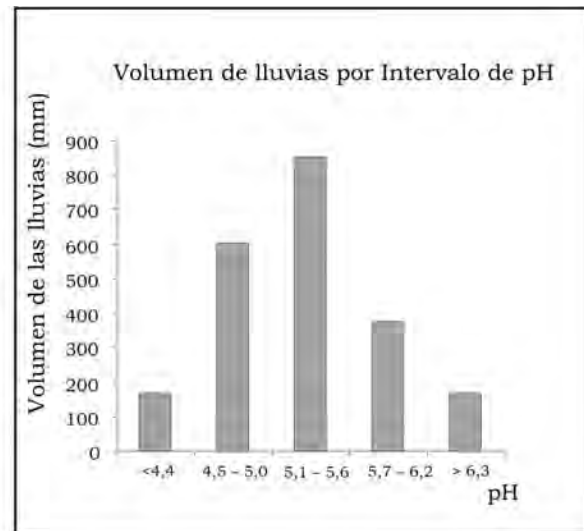
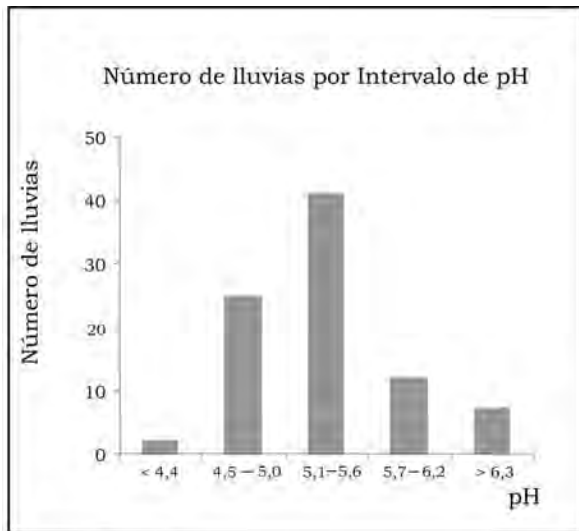
La comparación de las figuras permite destacar que, mientras que en la ciudad de Pinar del Río no se registran lluvias que se puedan considerar ácidas, en las otras dos estaciones el número de lluvias por debajo de 5,6 es del

86,4 % para La Palma y del 78,2 % en Amistad. Respecto a los volúmenes, el 86,3 % del agua de lluvia recolectada en La Palma se puede considerar ácida, mientras que en Amistad este mismo porcentaje solo alcanza el 74,8 %.



Elaborado por Plasencia, 2014

Figuras 4 y 5. Representación gráfica de los números de lluvias y volúmenes de precipitación que corresponden a los diversos intervalos de pH, en la Estación de la Palma [Morejón, 2009].



Elaborado por Plasencia, 2014

Figuras 6 y 7. Representación gráfica de los números de lluvias y volúmenes de precipitación que corresponden a los diversos intervalos de pH, en la Estación Hidrológica Amistad.

En la temporada donde el *rainout* de la lluvia es más ácido, pero el *washout* tiene capacidad de neutralización como consecuencia de su basicidad, es muy frecuente que las lluvias más copiosas sean más ácidas, y cuando se realiza un análisis detallado de los valores de pH del agua de lluvia recolectada en días sucesivos, se suele observar que los valores de pH dismi-

nuyen. En ambos casos el agotamiento de la capacidad de neutralización del *washout* es la que pone de manifiesto el hipotético carácter más ácido del *rainout*.

Al llevar a cabo un análisis detallado de la evolución del pH en lluvias de días sucesivos, que también es un método que permite apreciar la

existencia de capacidad de neutralización en la baja atmósfera [Bellot, 1989, y Carratalá *et al.*, 1996] se ha observado que en las estaciones de Pinar del Río y Amistad el porcentaje de días consecutivos en que disminuye o aumenta el pH se aproxima al 50 %, es decir, parece aleatorio. Por el contrario, en la Estación de La Palma el pH aumenta en cuatro ocasiones y disminuye en nueve, de las trece analizadas.

Con estos datos de pH de la precipitación, si se extrapolan los períodos de muestreos al año completo, se observa que el punto situado en la ciudad de Pinar del Río tiene un valor de deposición ácida de $0,006 \text{ keq} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, y en la Estación Meteorológica La Palma, $0,168 \text{ keq}$

$\cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Estos resultados coinciden con el mapa de deposición de H^+ que aparece en el estudio de López *et al.* (2006) y los de Amistad $0,185 \text{ keq} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}$.

Denudación química de las microcuencas

En la *Tabla 1* se resumen los resultados de exportaciones solubles en las cuatro microcuencas para los tres años del seguimiento y evaluación de los datos de los componentes químicos del agua. Hay que señalar que como solo se efectúa la toma de una muestra mensual para su análisis químico, como valor de caudal no se ha tomado el del día de muestreo, sino el valor medio correspondiente a las observaciones del limnógrafo de todo el mes.

Tabla 1. Exportación de elementos y sustancias solubles en las cuatro microcuencas

Cuencas	Años	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Total
		$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}$						
Cuenca 1	1983	246,1	133,2	40,5	74,3	12,7	85,2	591,9
	1987	44,4	24,8	3,8	12,1	1,9	14,0	100,9
	1988	97,0	53,2	11,4	26,0	6,5	33,8	228,1
	Promedio	129,2	70,4	18,6	37,5	7,0	44,3	307,0
Cuenca 2	1983	319,8	143,6	54,8	73,8	16,4	117,4	725,8
	1987	107,1	51,5	5,7	21,6	6,0	29,9	221,8
	1988	72,0	42,3	13,1	18,8	6,9	27,0	180,1
	Promedio	166,3	79,1	24,5	38,1	9,8	58,1	375,9
Cuenca 3	1983	600,4	157,3	46,5	162,4	29,5	100,6	1096,8
	1987	208,8	45,9	6,0	58,4	9,3	24,6	353,1
	1988	215,2	54,6	11,7	58,8	12,0	28,8	381,1
	Promedio	341,5	86,0	21,4	93,2	17,0	51,4	610,3
Cuenca 4	1983	171,3	119,9	46,9	41,5	15,3	77,6	472,5
	1987	52,4	37,0	8,8	11,2	7,9	22,7	140,1
	1988	68,8	42,8	16,1	12,8	6,8	29,4	176,7
	Promedio	97,5	66,6	23,9	21,8	10,0	43,2	263,1

Elaborado por Plasencia, 2014.

Existencia de procesos de acidificación

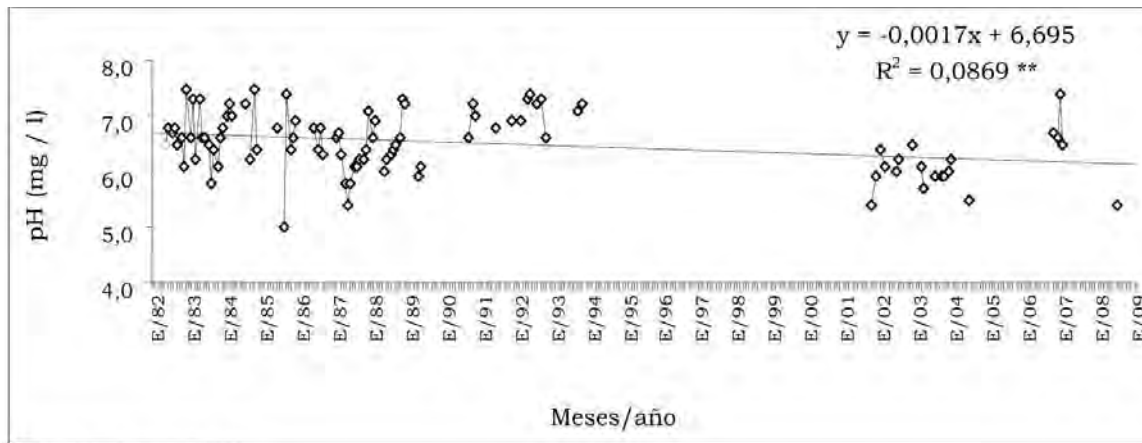
En la década de los cincuenta se empiezan a evidenciar los primeros efectos de la masiva emisión a la atmósfera de gases (especialmente el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno) que tienen un elevado poder acidificante. A partir de los años setenta empiezan a publicarse diversas investigaciones que evalúan los efectos de la lluvia ácida sobre ecosistemas terrestres y acuáticos [Hutchinson y Havas, 1980; Laws, 1993; Hällbacken y Tamm, 1986]. Sin embargo, desde entonces, en los países industrializados,

que fueron los que más sufrieron este impacto inicialmente, se han coordinado esfuerzos de modernización industrial con nuevas leyes de protección ambiental, que han permitido revertir el proceso en la mayoría de ellos [Berger, 1988; Houmand y Andersen, 1995 y Likens y Bormann, 1995]. Por el contrario, países en vía de desarrollo especialmente en Asia, pero también en América y África, el incremento de los procesos de acidificación es patente [Foell, 1995; Larssen, 2006; Vallory, 1999]. En el caso de Cuba la situación de este problema de con-

taminación de la atmósfera ha sido descrita por López (2006), y la existencia de la acidificación concreta en suelos Lithosoles, de tres cuencas del occidente cubano, la señalan Morejón *et al.* (2009).

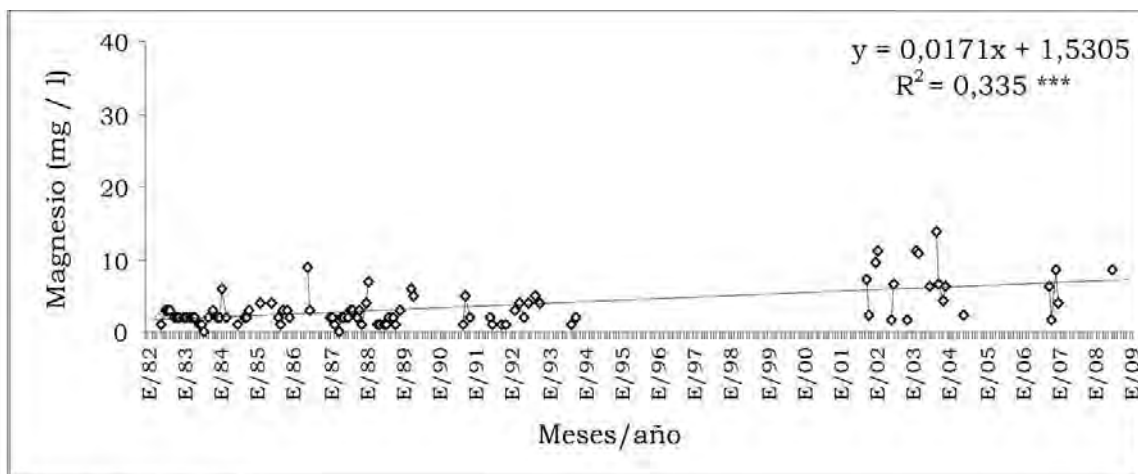
La serie histórica de los valores de pH del agua de las microcuencas de la Estación Amistad constituye una información sumamente interesante para comprobar la existencia de tendencias en el comportamiento hidroquímico de los arroyos. Como era de prever por la información

existente ya mencionada, la evolución química de las aguas de escurrimiento es exactamente la contraria a la encontrada en diversos lugares de Europa y América del Norte, en los que el proceso de acidificación se ha invertido. En la *Fig. 7* se puede apreciar que en las cuatro cuencas, al aplicar la regresión lineal, se manifiestan disminuciones significativas del pH en tres de ellas, y en las *Figs. 8, 9 y 10* se observan incrementos en las concentraciones de los cationes magnesio, calcio y sulfato, respectivamente.



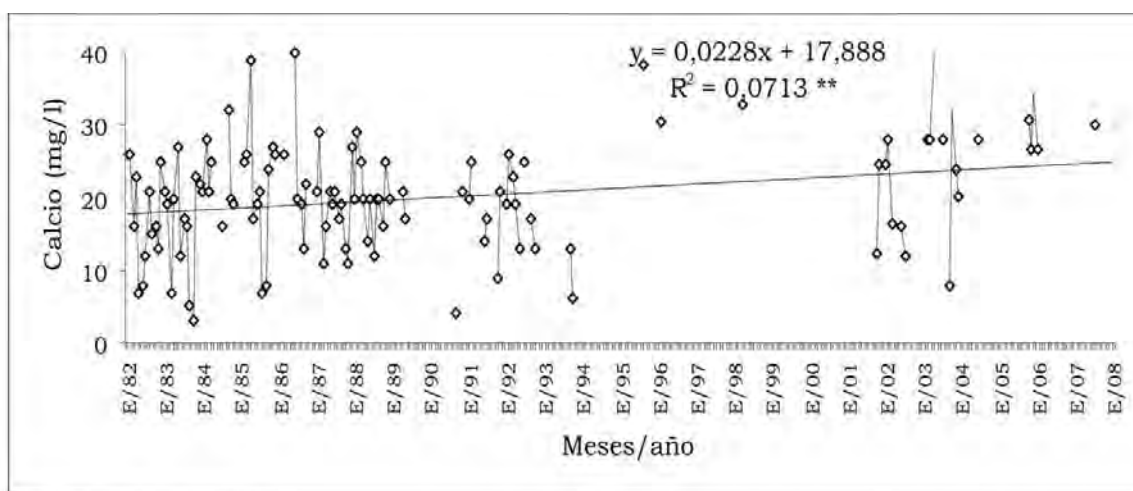
Elaborado por Plasencia, 2014

Figura 8. Comportamiento del pH con respecto al tiempo en las subcuencas.



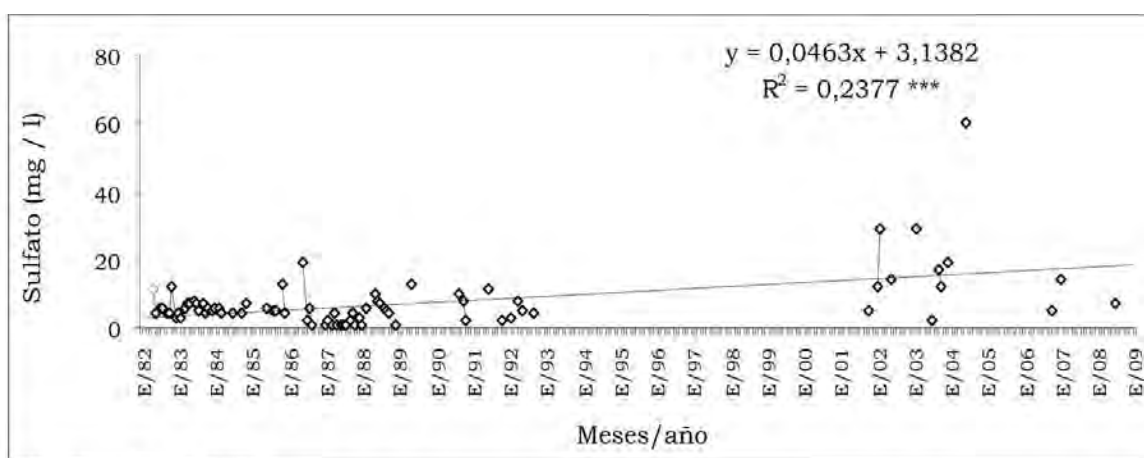
Elaborado por Plasencia, 2014

Figura 9. Comportamiento del Mg^{2+} con respecto al tiempo en las subcuencas.



Elaborado por Plasencia, 2014

Figura 10. Comportamiento del Ca^{2+} con respecto al tiempo en las subcuencas.



Elaborado por Plasencia, 2014

Figura 11. Comportamiento del SO_4^{2-} con respecto al tiempo en las subcuencas.

CONCLUSIONES

- En la Estación Amistad la deposición global tiene un carácter ácido, tanto por el número y el volumen de las precipitaciones, existiendo una relación significativa entre los volúmenes de lluvias recolectadas y las concentraciones de hidrogeniones en el sentido de que las precipitaciones más caudalosas tienden a tener menor valor de pH.
- Al efectuar el balance de entrada (lluvias) y salida en los arroyos en las subcuencas respecto a los kiloequivalentes/ha/año nos indica que hay una tendencia a la acidificación del agua que escurre.
- Al aplicar las regresiones lineales se obtuvo una disminución significativa de los valores del pH y los aumentos significativos de las concentraciones de calcio, magnesio y sulfato, poniendo de manifiesto la tendencia a la acidificación del ecosistema pinar.

BIBLIOGRAFÍA

- Bellot, J. 1989. Análisis de los flujos de deposición global, trascolación, escorrentía cortical y deposición seca en el encinar mediterráneo de l'Avic (Sierra de Prades, Tarragona). Tesis doctoral, Universidad de Alicante. 324 p.
- Berge, E. 1988. Time-trends of sulphate and nitrate in precipitation in Norway (1972-1982). *Atmospheric Environment (US)* 22:333-338 p.
- Bosch, J. L. & Hewlett, J.D. 1982. A review of catchments experiment to determine the effects of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology (US)* 115: 297-313.
- Calzadilla, E. 1978. Estudio de los suelos del área experimental de la estación hidrológica forestal Amistad. Ciudad de La Habana. Centro de Investigación Forestal. p.11.
- Carratalá A., Bellot, J., Gómez A., Millán, M. 1996. African dust influence on rainwater on the eastern coast of Spain, in Guerzoni S. and Chester R. (eds.). *The impact of desert dust across the Mediterranean, Kluwer Academic Publishers (UK)* 11: 323-332
- Foell, W., et al. 1995. Energy use, emission, and air pollution reduction strategies in Asia. *Water Air and Soil Pollution (US)* 85:2277-2282.
- Hallbäck, L., Tamm, C.O. 1986. Changes in soil acidity from 1927 to 1982-84 in forest areas of south-west Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research (NL)* 1:219-232.
- Houmand, M.F., Andersen, H.V. 1995. Nine years of measurements of atmospheric nitrogen and sulphur deposition to Danish forest. *Water, Air and Soil Pollution (NL)* 85: 2205-2210.
- Hutchinson, T.C., Havas, M. 1980. Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. (eds Plenum Press) *Forest catchments in south-eastern Australia. Forest Ecology (NL)* 150-180 p.
- Larssen, T. & Holme, J. 2006. Afforestation, seasalt episodes and acidification -A paired catchment study in western Norway. *Environmental-Pollution (NL)* 139:440-450.
- Laws, E.A. 1993. *Aquatic pollution*. Ed. John Wiley & Sons. 150 p.
- Lee, R. 1980. *Forest Hydrology*. Columbia University. 45 p.
- Likens, G.E., Bormann F.H., Pierce R.S., Eaton J.S. & Johnson N.M. 1977. *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. Springer-Verlag. 85 p.
- Likens, G.E.; Bormann F.H. 1995. *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. Springer-Verlag 110 p.
- López, C. 2006. *Introducción a la gestión de la calidad del aire*. Instituto Nacional de Meteorología. La Habana. 25 p.
- Morejón, Y.M. 2009. Análisis del estado actual y tendencias previsibles, de los recursos edáficos e hídricos en cuencas del occidente de Cuba. 233 h. Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, España/ Universidad de Pinar del Río, Cuba.
- Vallory, D. 1999. Influence of calcareous soil particulates on acid rain. *Belo Horizonte Metropolitan Region, Brazil. Ambio (BR)* 28:514-518.

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Ariel Tomás Plasencia Puentes

Ingeniero Forestal, doctor en Ciencias Forestales, especialista de la Estación Experimental Agro-Forestal de Viñales, su labor investigativa ha estado dirigida en las temáticas de Conservación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Ha sido responsable de diferentes tareas de investigación científica, siendo además el líder de subproyectos que se han desarrollado en la Estación Hidrológica Amistad. Ha obtenido un premio MINAG y un premio de la Academia Provincial. Ha participado en diferentes eventos nacionales e internacionales con resultados de gran impacto.