

NOTA SOBRE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA DE LLUVIA Y DE LA NIEVE EN HUESCA

José Antonio MANSO¹
Joaquín LANUZA¹
Gonzalo GONZALO¹
José María GARCÉS¹
Ángel JIMÉNEZ¹
Tomás SALINAS¹
Esther LÓPEZ¹
Jaime ARRANZ¹
José Luis VILLARROEL¹
José Antonio CUCHÍ¹

RESUMEN.— Se presentan datos de conductividad eléctrica (CE) y pH de 567 episodios de lluvia en la Escuela Politécnica Superior de Huesca, recogidos entre 2004 y 2016, y de 42 muestras de nieve del Pirineo. En la lluvia se observan altos valores de conductividad eléctrica relacionables con episodios de contaminación agraria y biológica, y también se aprecia un porcentaje relativamente elevado de episodios que se pueden considerar como lluvia ácida. Las muestras de nieve tienen, en general, bajos valores de CE y pH, pero hay también un porcentaje de muestras muy básicas relacionadas con polvo eólico norteafricano.

Recepción del original: 7-2-2017

¹ Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. manso@unizar.es, lanuza@unizar.es, ggonzalo@unizar.es, jgarcet@unizar.es, ajimenez@unizar.es, tjsalfer@unizar.es, eslopez@unizar.es, jarranz@unizar.es, jlvilla@unizar.es, cuchi@unizar.es

ABSTRACT.— This article presents electrical conductivity (EC) and pH data from 567 rainfall episodes at the Polytechnic High School of Huesca between 2004 and 2016, and 42 samples of snow from the Pyrenees. The rain shows high values of electrical conductivity in episodes of agrarian and biological contamination. Within those measurements a relatively high percentage of episodes that can be considered as acid rain. Snow samples generally have low EC and pH levels although in some samples we also found North African Aeolian dust.

KEY WORDS.— Rainwater, snow, chemistry, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

A partir del último tercio del siglo XX, existe un claro interés por monitorizar sistemáticamente las características químicas de las precipitaciones atmosféricas, por su clara relación con diversos procesos de contaminación y la eliminación de estos contaminantes hacia el suelo. Algunos efectos han sido objeto de amplios estudios como es el caso de la lluvia ácida y sus efectos sobre masas forestales, corrosión de instalaciones metálicas y conservación de monumentos históricos. A nivel mundial existen numerosas redes de monitorización como se presenta, por ejemplo, en VET y cols. (2014). A nivel español, la Agencia Estatal de Meteorología controla desde hace años el pH de las precipitaciones en 13 estaciones (AEMET, 2010), pero ninguna de ellas está localizada en Aragón. Además, se han publicado numerosos trabajos de ámbito más local. BONET y cols. (1984) avanzan datos de lluvia de 1981 en Santander. Años más tarde, BONET y cols. (1988) comparan la acidez de la precipitación total entre Santander y Torrelavega. CAMARERO y CATALÁN (1993) ofrecen datos en 4 estaciones en el Pirineo catalán entre agosto de 1987 y agosto de 1988. ALASTUEY y cols. (1999), que estudian los efectos de la central térmica de Andorra, presentan datos para Morella. MARÍN y cols. (2001) estudiaron 8 estaciones en España y Portugal entre 1986 y 1987. SANZ y cols. (2002) han muestreado la química de la precipitación total (húmeda más seca) en 10 estaciones en la costa mediterránea. ÁVILA y RODÀ (2002) y trabajos asociados estudiaron una serie en un encinar del Montseny. En Galicia, VÁZQUEZ y cols. (2003) trabajaron con 17 estaciones de muestreo. HONTORIA y cols. (2003) analizan 164 eventos en 10 puntos dentro del casco urbano de Madrid. GONZÁLEZ y cols. (2009) presentan 211 datos de 11 estaciones en zonas forestales en 2006.

Pero hay poca información sobre las precipitaciones en el Alto Aragón. Este artículo presenta datos de pH y conductividad eléctrica de precipitaciones registradas y medidas en la Escuela Politécnica Superior de Huesca entre 2004 y 2016. Además, se presentan 42 muestras del manto nival, en su mayoría del Pirineo del Alto Aragón.

MUESTREO Y MÉTODOS ANALÍTICOS

La lluvia fue recogida manualmente en el pluviómetro de la Escuela Politécnica Superior de Huesca (ETRS98. H 30; X: 710805; Y: 466182; Z: 466 msnm). Es un colector estándar con recipiente en plástico que recoge tanto el agua de lluvia como el polvo atmosférico, correspondiendo a lo que se define como *bulk precipitation*. Cuando ha llovido en las veinticuatro horas previas, la precipitación se determina por el método clásico mediante probeta. El pH se midió en la misma mañana del día de muestreo, con la mayor celeridad posible, tras la recogida de la precipitación mediante un pHmetro Orión 290 A portátil con un electrodo de vidrio Ingold de pH con compensación de temperatura, así como con el oportuno calibrado con los correspondientes tampones. La conductividad eléctrica (CE) se determinó mediante un conductímetro Orión 122 con sonda compensatoria de temperatura y electrodo calibrado para presentar los datos en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C.

El manto nival se muestreó esporádicamente mediante toma manual cuidadosa, para evitar contaminación en botes de polietileno nuevos, lavados en laboratorio con agua desionizada. En campo “se enjuagó” con la nieve a muestrear. Las determinaciones se realizaron al día siguiente del muestreo, una vez fundida la muestra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han estudiado 567 episodios de precipitaciones. En la mayor parte de los casos se trata de precipitaciones recogidas en las 24 horas previas. Tras fines de semana y fiestas diversas se mide la precipitación acumulada. En las determinaciones se observa el efecto acumulado de la lluvia más el polvo que se haya obtenido desde la anterior recogida donde se pueden dar la disolución de la fase sólida más reacciones posteriores. La comparación de los valores del presente artículo con los que se presentan en las referencias

bibliográficas debe ser realizada con cierto cuidado dado que unos autores solo muestrean la precipitación líquida (*wet*), eliminando el efecto de la deposición seca. Otros la presentan en total (*bulk*) como en este artículo. Algunos no lo explicitan. También hay que tener cierto cuidado con las estadísticas, ya que en algunos trabajos se presentan valores ponderando los parámetros químicos con el volumen de la precipitación.

Conductividad eléctrica de la precipitación (húmeda más seca) en Huesca

La conductividad eléctrica, que mide el contenido en iones disueltos, ha oscilado en un rango de entre 6,17 y 819 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C y una media aritmética de 50,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C. Eliminando los 15 valores superiores a los 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C se obtiene una media aritmética de 43,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C. Ambos valores entran dentro de los registrados dentro de la península ibérica que dependen de factores como la cercanía al mar, la presencia de aerosoles industriales y la erosión eólica. VÁZQUEZ y cols. (2003) para 17 estaciones gallegas con 647 eventos obtienen una conductividad media de 68,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (163,7 para las islas Cíes y 26,5 en Nodar), que reflejan la disminución de la influencia marina tierra adentro. Por su parte, CAMARERO y CATALÁN (1993) en Viella, Tavascán, Sallente y La Molina, de agosto de 1987 a agosto de 1988 con 212 episodios de lluvia, obtienen una conductividad media de 17,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1,2-165,9). Más recientemente, GONZÁLEZ y cols. (2009) en 211 eventos en 11 estaciones forestales obtienen un valor de 26 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C.

No se han encontrado datos para el valle del Ebro, donde la presencia de polvo atmosférico derivado de suelos calcáreos y salinos tiene una influencia innegable. El valor más bajo en Huesca, un dato asociable a una atmósfera muy limpia, corresponde al 23 de septiembre de 2016. El mayor valor, 819 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C, fue medido el 19 de noviembre de 2007. Es un dato muy alto que corresponde a la época de laboreo del terreno previo a la siembra del cereal de otoño durante un periodo seco (siembra en polvo). De hecho, este fue el primer episodio de lluvia tras 45 días sin precipitación. Los picos altos de los otoños de 2003, 2010 y 2012 pueden relacionarse con la misma causa. En los últimos años parece que el auge de la siembra directa ha disminuido la presencia de partículas de suelo en suspensión. Pero hay otros picos en fechas diversas. Algún valor alto, como los del 28 y 29 de agosto de 2003, se midieron en agua de tormenta. Ocasionalmente, como el

29 de diciembre de 2005, es evidente que la afición de algunos pájaros a descansar en el pluviómetro afecta a la conductividad medida en lluvias posteriores. Los valores altos del 14 y 15 de julio de 2007 y 17 de abril se han asociado visualmente con la presencia de polen de pino (“azufre”), procedente de un pinar de repoblación cercano (tabla 1).

Tabla 1. Datos de precipitación y química de la lluvia en la Escuela Politécnica Superior de Huesca, por fechas, entre 2003 y 2016. Precipitación (P) en mm; CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C.

<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>
28/8/2003	2,2	169	5,87	27/11/2003	9,3	35,3	6,78	6/5/2004	2,4	88,7	6,45
29/8/2003	0,1	372	5,03	1/12/2003	6,9	39,4	6,69	7/5/2004	0,8	70,5	6,58
1/9/2003	15,4	48,3	5,15	2/12/2003	2,2	28,1	6,65	10/5/2004	0,9	193,6	6,22
2/9/2003	0,3	148,4	5,15	5/12/2003	17	32,7	6,18	11/5/2004	5,1	52,7	5,3
3/9/2003	14,0	29,1	4,96	9/12/2003	13,1	19,9	6,53	12/5/2004	2,5	75,1	6,19
4/9/2003	1,3	64,0	5,35	19/12/2003	4,7	63,4	6,23	24/5/2004	6,3	93,2	5,82
8/9/2003	2,9	45,3	5,02	29/12/2003	5,5	23,6	6,87	6/7/2004	2,0	28,3	6,54
9/9/2003	9,2	16,4	4,95	2/1/2004	0,7	31,4	6,8	7/7/2004	12,0	41,7	6,68
29/9/2003	18,2	51	5,8	20/2/2004	5,0	45,1	6,74	12/7/2004	3,0	60,2	6,71
30/9/2003	9,3	31	5,23	23/2/2004	15,0	40,1	7,07	17/7/2004	9,4	71,9	6,52
3/10/2003	3,0	48,7	5,43	25/2/2004	11,4	11,9	6,14	28/7/2004	1,9	67,9	6,25
14/10/2003	4,4	91,6	5,64	26/2/2004	6,9	17,5	6,78	17/8/2004	3,1	124,2	6,86
15/10/2003	1,2	98,2	6,19	27/2/2004	6,3	11,5	6,55	18/8/2004	7,2	111,4	6,86
16/10/2003	5,6	67,8	5,67	15/3/2004	18,2	43,8	6,63	6/9/2004	13,8	40,7	6,67
17/10/2003	0,6	76,3	6,21	29/3/2004	16,4	14,2	6,09	7/9/2004	2,1	25,3	6,28
20/10/2003	54,0	61,2	5,78	30/3/2004	37,2	37,1	7,4	7/10/2004	3,0	162	6,4
27/10/2003	15,4	79,6	5,25	31/3/2004	6,8	25,1	5,94	18/10/2004	5,2	67,8	6,07
28/10/2003	4,0	36,7	4,97	1/4/2004	1,6	21,1	6,2	22/10/2004	13,6	18,6	6,47
29/10/2003	15,0	35,4	4,58	2/4/2004	9,0	18,3	5,98	25/10/2004	6,2	35,3	6,17
30/10/2003	0,5	48,9	6,48	19/4/2004	15,2	26,8	7,02	28/10/2004	26,8	10,9	6,76
31/10/2003	8,3	58,9	5,95	22/4/2004	7,9	24,1	6,25	29/10/2004	3,5	17,6	6,7
3/11/2003	4,0	38,8	5,68	23/4/2004	1,9	28,8	5,95	2/11/2004	3,1	18,7	6,58
10/11/2003	17	40,3	6,4	28/4/2004	17,2	24,3	5,89	9/11/2004	2,3	31,6	6,31
11/11/2003	28,5	21,5	5,17	29/4/2004	3,0	25,7	5,6	28/11/2004	3,2	72,3	6,82
17/11/2003	9,0	19	5,95	30/4/2004	1,4	45,5	6,35	01/12/2004	24,8	10,4	6,84
24/11/2003	9,8	81,1	7,01	3/5/2004	13,3	20,3	6,01	7/12/2004	6,2	12,8	6,81

Tabla 1. (Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>
4/4/2005	nd	37,4	5,76	17/2/2006	3,0	79,7	6,65	18/10/2006	18,5	18,9	6,25
10/5/2005	4,6	100,1	6,92	3/2/2006	5,6	33,6	6,52	19/10/2006	3,2	31,2	6,03
12/5/2005	13,4	31,9	6,57	10/3/2006	5,2	30,8	6,61	22/10/2006	6,0	71,8	6,13
15/4/2005	nd	44,3	6,73	19/3/2006	21	49,6	6,37	23/10/2006	3,4	46,5	6,1
16/5/2005	8,7	30,9	6,18	24/3/2006	4,8	28,5	6,48	15/11/2006	3,1	66,4	6,51
17/5/2005	19,7	12,2	6,69	9/4/2006	0,2	215	6,45	16/11/2006	11,9	35,2	6,33
23/5/2005	2,5	115,5	6,66	16/4/2016	19	25,7	6,51	22/11/2006	1,4	52,4	6,6
14/6/2005	8,0	73,6	6,54	17/4/2006	11,4	11,9	6,41	26/11/2006	7,6	36,2	6,53
23/6/2005	6,6	12,5	6,52	21/4/2006	3,4	48,7	6,25	7/12/2006	17,5	24,5	6,21
27/6/2005	nd	115,7	6,05	7/5/2006	19,9	40,8	6,48	17/12/2006	0,6	147,6	6,62
28/6/2005	10,4	30,3	6,55	11/5/2006	3,8	54,4	6,68	22/1/2007	1,9	138,6	6,48
26/7/2005	5,0	193,4	6,67	16/5/2006	2,8	77,3	6,52	24/1/2007	4,0	37,4	6,6
28/7/2005	1,4	204	6,18	17/6/2006	5,9	201	6,37	30/1/2007	4,4	57,9	6,83
29/7/2005	20	39,1	5,84	16/6/2006	2,5	122,6	6,46	7/2/2007	2,4	65,1	7,17
18/8/2005	0,9	284	5,57	24/6/2006	20,5	63,7	5,95	8/2/2007	11,5	18,1	6,74
8/9/2005	13,6	61,4	6,75	26/6/2006	3,4	82,7	5,95	11/2/2007	1,3	81,4	6,91
12/10/2005	29,1	75	5,25	13/7/2006	2,4	259	6,19	12/2/2007	3,0	19,4	6,57
13/10/2005	16	21	6,1	15/7/2006	12,3	62,5	5,85	14/2/2007	1,5	49,7	6,93
16/10/2005	30,6	12,9	5,04	19/7/2006	47,3	63,4	6,35	17/2/2007	1,3	71,8	7,33
18/10/2005	5,0	40,1	7	15/8/2006	3,0	84	6,26	25/2/2007	2,2	92,6	7,38
22/10/2005	6,5	26,7	7,06	17/8/2006	9,4	48,8	6,06	6/3/2007	0,7	118,5	7,21
30/10/2005	19	40,6	5,79	23/8/2006	2,2	17,9	6,09	20/3/2007	1,8	97,6	7,11
8/11/2005	0,6	97,9	6,01	7/9/2006	3,6	133,2	6,34	26/3/2007	17,9	57,6	7,33
13/11/2005	12,6	18	6,49	11/9/2006	23,6	32,4	6,02	1/4/2007	34,1	35,4	7,14
15/11/2005	2,2	21,3	6,36	12/9/2006	13,6	14,9	6,01	2/4/2007	28,5	16,5	6,96
1/12/2005	13,4	25,9	6,78	13/9/2006	48,4	10,4	5,72	9/4/2007	16	26,2	6,24
4/12/2005	8,5	22,8	6,73	14/9/2006	6,8	7,4	5,5	10/4/2007	1,6	77,4	6,84
5/12/2005	2,6	23,4	6,21	21/9/2006	41,5	27,7	6,7	12/4/2007	12,8	20,2	6,59
29/12/2005	0,4	206	6,35	24/9/2006	13,5	63,7	6,09	15/4/2007	7,8	498	6,95
31/1/2006	7,2	17,3	6,6	2/10/2006	1,6	56,7	6,2	17/4/2007	2,4	388	6,68
8/1/2006	2,8	5,82	6,63	3/10/2006	0,5	21,1	6,4	28/4/2007	3,0	180	6,92
9/1/2006	13,3	19,4	6,56	10/10/2006	1,6	121,6	6,83	1/5/2007	4,6	18,6	6,89
15/1/2006	1,6	70,2	6,14	11/10/2006	4,6	42,6	6,59	3/5/2007	8,4	16,4	6,24
30/1/2006	1,8	73,1	6,41	17/10/2006	12,2	37,3	6,18	27/5/2007	4,3	101,6	7,54

Tabla 1. (Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>
10/6/2007	9,4	97,9	6,54	13/4/2008	3,8	16,4	6,61	13/12/2008	14,3	8,9	5,73
14/6/2007	3,5	104,5	6,61	16/4/2008	8,4	29,7	6,46	28/12/2008	16,2	39,8	6,03
17/6/2007	7,8	44,2	6,46	17/4/2008	10,5	13,8	6,32	29/12/2008	5,5	23,3	5,91
20/6/2007	3,6	64,9	6,41	20/4/2008	25,8	13,1	6,31	9/1/2009	9,2	15,3	5,39
24/6/2007	2,6	82,4	6,48	4/5/2008	4,3	69,7	6,97	19/1/2009	6,5	19,3	6,14
7/7/2007	2,7	159,8	6,4	12/5/2008	26,6	37,1	6,15	23/1/2009	11,8	8,5	5,72
21/7/2007	8,0	256	6,95	13/5/2008	7,0	25,6	6,06	25/1/2009	11,1	10,3	5,66
6/8/2007	3,4	107,3	7,16	14/5/2008	12,2	9,7	5,61	1/2/2009	11,3	13,8	5,39
24/8/2007	21,2	94,9	6,62	15/5/2008	2,5	35,5	5,85	2/2/2009	2,2	13,1	5,75
17/9/2007	5,5	102,5	6,7	18/5/2008	20,3	10,2	5,66	2/3/2009	10,3	39	5,78
1/10/2007	8,1	61,8	6,68	19/5/2008	2,1	9,4	5,75	4/3/2009	10,5	27,2	6,36
3/10/2007	3,3	65,5	6,29	22/5/2008	2,3	26,6	5,81	5/3/2009	11,8	33,1	6,21
19/11/2007	4,3	819	7,03	25/5/2008	41,0	13,2	5,61	28/3/2009	10,2	48,2	5,47
20/11/2007	5,6	79,5	7,12	26/5/2008	4,2	12,9	5,54	6/4/2009	11,3	34,8	5,44
17/12/2007	8,2	57,4	6,79	31/5/2008	10,0	7,1	5,5	7/4/2009	2,2	19,3	6,12
18/12/2007	3,1	37,8	6,04	9/6/2008	15,4	17,2	5,97	10/4/2009	34	9,2	4,77
2/1/2008	4,6	87,9	6,64	10/6/2008	13,5	9,6	5,61	14/4/2009	19,2	14,8	5,87
3/1/2008	15,3	41,5	6,42	16/6/2008	9,6	18,7	5,59	7/5/2009	7,2	40	5,7
11/1/2008	6,7	37,8	6,74	26/6/2008	5,4	69,8	6,1	9/5/2009	4,3	52,1	4,87
15/1/2008	5,8	29,3	6,72	14/7/2008	16,2	35,3	5,98	11/5/2009	2,0	106,6	5,89
3/2/2008	4,3	72,8	6,59	13/8/2008	3,7	186	6,12	13/5/2009	8,8	40,4	5,46
18/2/2008	9,0	56,8	6,22	11/9/2008	4,2	89,3	6,63	24/6/2009	9,2	61,2	5,97
19/2/2008	6,3	38,6	6,62	22/9/2008	11,8	47,1	6,06	20/7/2009	9,2	51	6,01
24/2/2008	8,2	32,1	6,66	7/10/2008	3,4	59,1	6,01	6/8/2009	3,5	44,2	6,01
4/3/2008	1,7	52,2	6,12	12/10/2008	5,4	58,1	6,47	8/8/2009	16,6	36	5,88
10/3/2008	1,8	68,4	6,72	18/10/2008	13,3	32,4	6,04	1/9/2009	6,7	161,7	5,15
17/3/2008	1,6	91,2	6,61	21/10/2008	23,8	24,2	6,01	17/9/2009	25,5	71,5	5,83
23/3/2008	7,5	29,5	6,18	22/10/2008	2,5	26,7	6,15	1/10/2009	4,1	65,4	5,4
28/3/2008	4,5	19,3	6,28	27/10/2008	4,4	50,1	5,64	20/10/2009	18,6	68,9	5,99
30/3/2008	3,4	32,9	6,61	28/10/2008	4,0	13,1	5,95	21/10/2009	7,4	15	5,32
7/4/2008	21,8	32,4	6,4	30/10/2008	11,1	15	6,1	22/10/2009	22,1	13,6	5,84
8/4/2008	3,7	19,5	6,51	2/11/2008	37,3	11,8	5,98	1/11/2009	6,0	46,8	5,31
9/4/2008	7,5	18,2	6,46	29/11/2008	3,8	21,3	6,15	8/11/2009	16,8	19,8	6,03
10/4/2008	7,8	13,3	6,32	8/12/2008	10,8	25,6	5,4	21/11/2009	3,6	44,9	4,73

Tabla 1. (Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>
29/11/2009	3,3	36,3	6,17	22/7/2010	11,3	30,9	6,27	29/5/2011	6,8	51	5,4
30/11/2009	8,7	22,2	5,96	18/8/2010	7,5	85,5	5,46	30/5/2011	11,4	23,1	5,62
2/12/2009	3,3	6,17	5,78	2/9/2010	32,9	38,3	5,4	5/6/2011	12,8	17,6	5,51
21/12/2009	6,1	10	6,14	3/9/2010	3,6	42,5	5,43	6/6/2011	14,5	14,1	5,44
26/12/2009	32	11,1	6,14	17/9/2010	12,5	21,2	6	7/6/2011	27,7	56,8	6,58
29/12/2009	1,8	10,3	6,48	21/9/2010	3,5	36,9	5,88	9/6/2011	3,0	48,3	6,46
2/1/2010	8,1	32,2	6,18	23/9/2010	12,1	32,8	6,16	12/6/2011	0,1	44,4	6,51
4/1/2010	7,4	13,3	5,61	3/10/2010	2,8	55,2	5,64	2/7/2011	2,5	182,8	6,38
12/1/2010	9,6	10,4	5,59	10/10/2010	39,4	25,4	6,13	19/7/2011	5,0	94,5	6,51
13/1/2010	18,8	10,6	5,1	7/11/2010	5,0	42,4	5,63	18/8/2011	1,5	357	5,97
14/1/2010	3,5	8,6	6,43	8/11/2010	20,5	14,4	5,96	24/8/2011	5,3	109	6,15
4/2/2010	6,5	23,8	5,7	14/11/2010	5,3	43,8	5,6	25/8/2011	1,6	99,1	6,14
8/2/2010	5,2	16,5	6,22	20/11/2010	16,9	35,5	5,79	2/9/2011	13,2	53	4,61
16/2/2010	15	12,2	6,03	30/11/2010	1,9	125,4	5,6	24/9/2011	9,3	67,9	5,43
17/2/2010	12,2	22,9	5,66	9/12/2010	15,4	33,3	5,86	24/10/2011	13,1	73,3	6,3
22/2/2010	5,9	15,1	5,49	21/12/2010	8,6	59	5,57	27/10/2011	12,6	28,6	5,62
23/2/2010	2,2	20,7	5,33	22/12/2010	1,8	46,2	5,31	2/11/2011	7,3	28,8	5,58
24/2/2010	2,1	16,6	5,42	5/1/2011	2,2	79	5,83	3/11/2011	18,5	14,6	6,12
28/2/2010	5,2	11,7	5,73	8/1/2011	6,0	31,1	5,79	7/11/2011	6,6	7,57	6,24
2/3/2010	3,5	15,8	5,54	18/1/2011	0,9	116,1	6,06	14/11/2011	15,3	20,6	6,13
3/3/2010	2,9	14,6	5,77	29/1/2011	13,9	22,5	6,62	15/11/2011	1,5	29,1	4,87
24/3/2010	28,2	29,3	6,02	14/2/2011	6,2	40,6	6,42	19/11/2011	2,1	38,8	6,68
3/4/2010	6,7	20,6	5,55	16/2/2011	2,8	26,9	6,59	2/12/2011	4,7	35,5	6,75
1/5/2010	15	38,5	5,65	20/2/2011	1,3	56,3	5,42	16/12/2011	3,8	50,5	6,61
8/5/2010	19,5	39,2	5,32	21/2/2011	3,8	29,6	5,71	21/3/2012	5,9	144,6	5,54
10/5/2010	11,7	41,6	5,28	3/3/2011	6,8	37	5,6	5/4/2012	14,8	104,8	5,76
11/5/2010	4,5	33,3	5,77	12/3/2011	12,8	49	6,21	6/4/2012	15,3	56,8	5,83
13/5/2010	1,8	26,2	5,63	15/3/2011	4,6	25,3	6,42	10/4/2012	2,3	73,3	5,81
27/5/2010	4,1	23,3	5,94	16/3/2011	28	9,5	6,47	21/4/2012	8,6	37,6	5,96
28/5/2010	4,2	15,4	5,75	27/3/2011	12,8	17,3	6,47	31/4/2012	85,1	10,39	5,76
5/6/2010	4,3	13,7	5,99	30/3/2011	12,6	32,7	6,38	3/5/2012	3,5	9,98	5,78
8/6/2010	17,9	15,5	6,03	3/4/2011	3,5	34,9	6,36	4/5/2012	8,0	31,5	5,68
9/6/2010	28,5	11,6	5,71	7/5/2011	19,4	37,9	5,62	18/6/2012	4,4	141,5	5,18
27/6/2010	5,8	50,9	6,12	26/5/2011	6,9	51	5,52	19/6/2012	16,4	42	5,65

Tabla 1. (Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>
5/7/2012	53	47,3	6,12	25/4/2013	4,8	16,2	5,39	4/2/2014	11,2	7,49	5,68
29/8/2012	30,5	75,4	6,11	28/4/2013	18	22,5	5,52	5/2/2014	1,6	11,82	5,46
23/9/2012	0,4	226	5	29/4/2013	19	12,94	5,66	9/2/2014	11,4	14,15	5,45
26/9/2012	1,7	146,8	5,11	30/4/2013	8,5	15,41	5,58	11/2/2014	4,5	8,17	5,66
29/9/2012	20,8	29,9	5,45	7/5/2013	7,3	21,3	5,67	25/2/2014	2,7	41,2	5,64
10/10/2012	10	29,8	4,34	14/5/2013	6,7	16,28	5,48	27/2/2014	1,7	26,1	5,68
14/10/2012	3,2	37,5	6,11	14/5/2013	12,8	8,6	5,86	2/3/2014	8,2	25,3	5,23
25/10/2012	6,4	18,26	5,76	20/5/2013	0,8	21,9	5,84	3/3/2014	34	10,3	5,52
21/10/2012	154	36,6	7	6/6/2013	3,3	97,3	7,03	24/3/2014	3,6	38,2	5,02
27/10/2012	11	22,9	5,7	9/6/2013	4,3	28,5	7,13	25/3/2014	1,2	28,1	5,24
30/10/2012	5,4	16,21	5,73	17/6/2013	3,5	107,8	5,67	30/3/2014	5,3	50,6	5,64
5/11/2012	15,6	29,6	6,21	18/6/2013	43,2	11,71	5,52	2/4/2014	12	52,5	6,03
8/11/2012	2,4	34,1	6,18	15/7/2013	2,5	12,35	5,7	3/4/2014	19,9	15,25	6,23
10/11/2012	8,3	18,9	5,46	16/7/2013	11,7	10,8	5,9	20/4/2014	7,3	43,1	5,43
18/11/2012	2,5	16,88	5,45	29/9/2013	14	21,7	5,92	24/4/2014	21	10,84	5,61
25/11/2012	2,5	20,7	6,64	19/10/2013	4,5	45	5,05	19/5/2014	2,7	81	5,58
26/11/2012	5,0	8,47	5,64	21/10/2013	5,0	35	5,68	20/5/2014	21,5	17,16	5,8
12/12/2012	1,4	64,5	5,4	3/10/2013	1,8	31	5,38	21/5/2014	5,5	15,58	5,39
13/12/2012	4,1	32,5	5,45	4/10/2013	41,5	13,65	5,49	25/5/2014	38	14,08	5,37
16/12/2012	18,7	47,8	6,07	22/10/2013	5,0	47,4	4,89	28/5/2014	2,8	16,55	4,81
25/12/2012	0,7	89,3	5,04	3/11/2013	2,7	55,5	4,62	29/5/2014	1,4	10,95	4,82
13/1/2013	1,5	40,2	4,74	4/11/2013	3,5	63,5	4,25	23/6/2014	2,8	136,7	5,46
15/1/2013	2,4	13,05	5,3	21/11/2013	0,5	46,3	5,28	24/6/2014	15,3	45,5	4,36
17/1/2013	2,0	12,58	7,2	17/12/2013	14,5	27,5	5,22	1/7/2014	4,7	115,5	4,66
20/1/2013	18,3	14,32	5,67	18/12/2013	1,4	104,1	5,83	3/7/2014	15,6	49,5	6,09
22/1/2013	2,5	20,2	5,71	19/12/2013	5,5	35,7	6,6	4/7/2014	3,7	74,4	6,31
23/1/2013	3,5	13,47	5,6	4/1/2014	45	12,7	5,93	7/7/2014	7,4	30	5,91
24/1/2013	6,6	8,75	5,9	12/1/2014	2,6	27,7	5,28	18/7/2014	4,6	83,6	5,74
27/1/2013	11,3	9,62	5,9	14/1/2014	1,7	10,57	5,48	28/8/2014	27,3	59,9	5,65
1/2/2013	2,0	7,35	6,7	15/1/2014	0,8	13,39	4,89	7/9/2014	36,4	28,3	4,71
10/2/2013	5,2	37,9	5,87	18/1/2014	8,7	7,7	6,08	18/7/2014	18,7	30,9	5,32
5/3/2013	10,8	20,7	5,47	28/1/2014	3,3	10,3	5,46	22/9/2014	13,2	21,8	4,77
7/3/2013	8,4	18,4	5,57	1/2/2014	4,0	10,43	5,48	28/9/2014	4,7	52,7	5,26
10/3/2013	7,4	22,8	5,61	3/2/2014	2,4	15	5,11	9/10/2014	7,5	39,5	5,65

Tabla 1. (Continuación)

<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>	<i>Fecha</i>	<i>P</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>
13/10/2014	15,4	34,9	5,52	2/9/2015	12,2	27	5,47	21/4/2016	9,8	24,6	6,26
3/11/2014	21,4	28,4	5,2	17/7/2015	3,2	36,5	5,4	27/4/2016	1,7	40	6,16
11/11/2014	4,5	50,1	5,36	17/9/2015	12	25,6	5,35	8/5/2016	10,7	28,5	5,15
16/11/2014	11,2	25,2	5,16	13/10/2015	5,7	43,4	5,55	7/5/2016	15,2	13,36	5,3
25/11/2014	18,3	26,3	4,89	18/10/2015	3,4	44,6	5,65	13/5/2016	7,8	13,41	4,75
27/11/2014	3,3	42	5,45	20/10/2015	3,2	34	5,6	22/5/2016	5,4	20,03	5,84
31/11/2014	44	20,7	5,39	2/11/2015	25,5	43,2	5,05	29/5/2016	8,5	34,1	6,18
14/12/2014	2,9	72,1	5,35	14/1/2016	1,7	36,4	5,58	5/6/2016	1,4	59,7	5,84
15/1/2015	8,2	56,3	5,73	8/2/2016	12,6	22,7	4,94	6/6/2016	1,2	42,1	6,36
1/2/2015	12,5	33,6	5,64	9/2/2016	4,1	24,3	5,32	20/7/2016	9,8	88,7	6,2
2/2/2015	5,2	28,8	5,98	10/2/2016	1,5	15,78	5,48	7/7/2016	8,7	42,7	5,93
15/2/2015	2,9	61,4	5,76	14/2/2016	47,4	9,28	5,81	15/6/2016	3,4	41,8	6,38
23/2/2015	3,2	35,9	5,05	27/2/2016	50,5	24,7	5,92	13/9/2016	18	31,5	5,64
18/3/2015	6,8	73,2	5,96	6/3/2016	3,1	38,7	5,17	23/9/2016	11,6	34,6	5,87
22/3/2015	46	40,5	5,94	10/3/2016	2,6	30,1	5,8	12/10/2016	7,2	36,4	5,58
23/3/2015	22,5	27,3	5,92	13/3/2016	3,9	46,6	5,32	16/10/2016	15	19,93	5,7
26/4/2015	9,3	48,5	5,95	14/3/2016	38,2	15,84	5,46	23/10/2016	8,2	31,4	6,9
1/6/2015	11,8	67,1	5,84	20/3/2016	31,3	22,9	5,98	24/10/2016	13,5	14,86	7,03
10/6/2015	6,5	68,3	5,76	3/4/2016	1,1	74,3	6,01	6/11/2016	36,5	15,93	6,54
11/6/2015	19,6	26,9	5,95	4/4/2016	43,3	12,3	6,12	9/11/2016	1,5	35,1	7,14
13/6/2015	5,5	45	5,87	5/4/2016	4,0	15,05	6,08	20/11/2016	13,9	14,9	7,1
8/8/2015	21,5	52,9	5,94	10/4/2016	8,9	16,7	5,03	21/11/2016	7,1	13,15	6,23
12/8/2015	16,7	34,9	5,93	12/4/2016	1,6	23,9	5,15	22/11/2016	38	23,1	6,77
31/8/2015	36,2	35,5	5,4	18/4/2016	6,3	18,3	5,03	23/11/2016	51,7	11,49	7,02
1/9/2015	13,4	27,3	5,08	20/4/2016	1,7	89,8	6,14				

pH de la lluvia total en Huesca

El pH de la lluvia tiene un valor medio de 5,98 con un rango de entre 4,25 y 7,54. El valor más bajo se relaciona con una CE de 42,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C y el más alto con 101,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C lo que evidencia que es muy baja la correlación entre ambas variables ($r = 0,137$).

A efectos comparativos, hay muchos trabajos relativamente antiguos sobre el pH de la lluvia en España, con valores diversos en función del

emplazamiento y del periodo considerado. ALASTUEY y cols. (1999), para 75 eventos de precipitación total entre 1995 y 1996 en Morella, obtienen un valor medio de 6,8 (5,4 a 7,8). Solo se detectaron dos episodios de ligera acidez. ÁVILA y ALARCÓN (1999), en una cuenca experimental en un encinar del Montseny, relacionan las situaciones meteorológicas con el pH de la lluvia. Los valores de pH más altos se relacionan con viento del sur y polvo sahariano, mientras que los más ácidos corresponden a flujos de aire procedentes del Atlántico y Centroeuropa. MARÍN y cols. (2001), con 8 estaciones en España y Portugal entre 1986 y 1987, presentan datos medios de pH de entre 5,3 en Viana do Castelo y 6,7 en la Cartuja de Granada. En todas las estaciones se registraron valores por debajo de 5,6 con un mínimo de 3,5 en Toledo en agosto de 1993. Concluyen también que la acidez disminuye en verano. ÁVILA y RODÀ (2002) estudiaron una serie en un encinar del Montseny, 538 datos de 4 pluviómetros entre enero de 1983 y septiembre de 2000. En precipitación total obtienen valores ponderados de 16,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH: 5,27. Desde un pH por debajo de 5,0 observan una tendencia temporal hacia pH superiores a 6 entre 1983 y 2000 en el Montseny. VÁZQUEZ y cols. (2003), para 17 estaciones gallegas con 647, eventos obtienen un pH medio de 6,55 (de 7,08 en Monte Medio a 5,99 en Xunqueira). HONTORIA y cols. (2003), en 164 eventos de precipitación húmeda en 10 puntos dentro del casco urbano de Madrid, obtienen que, únicamente, un 3% es ácida. En la misma línea, GONZÁLEZ y cols. (2009), con 211 datos de 11 estaciones en zonas forestales en 2006, no obtienen valores inferiores a 6,5 y concluyen que la lluvia ácida no es un problema en España. Pero AEMET (2010) para el año 2008, sin especificar si es en lluvia o total, presenta para sus 13 estaciones unos valores medios extremos de 5,33 en Niembro (Llanes, Asturias) y 6,73 en Els Torms (Lérida). En el primer emplazamiento, los valores mensuales solo están por encima del umbral de 5,6 en los meses de enero y febrero.

Los valores del presente artículo se encuentran dentro de los parámetros presentados por los trabajos mencionados, a los que hay que aplicar el efecto derivado de la semiaridez y las condiciones climáticas y agronómicas del centro del valle del Ebro, con una importante erosión eólica que pone abundante polvo en suspensión en la atmósfera.

En los datos de Huesca (fig. 1), se observan fuertes oscilaciones en periodos muy cortos de tiempo. En parte pueden ser debidas a la interacción entre

la lluvia y el polvo almacenado desde la precipitación líquida anterior. También se observa una tendencia hacia la acidificación desde inicios de 2007 seguida de una estabilización en bajos valores desde enero de 2009 hasta finales de 2016. Esta acidificación también se constata numéricamente en los resultados estadísticos de la tabla II, donde se observan que tanto en los valores mínimos como en las medianas de los eventos (Q2) alcanzan su mínimo en 2014. No es fácil conocer la causa de esta acidificación, que parece cesar a finales de 2016.

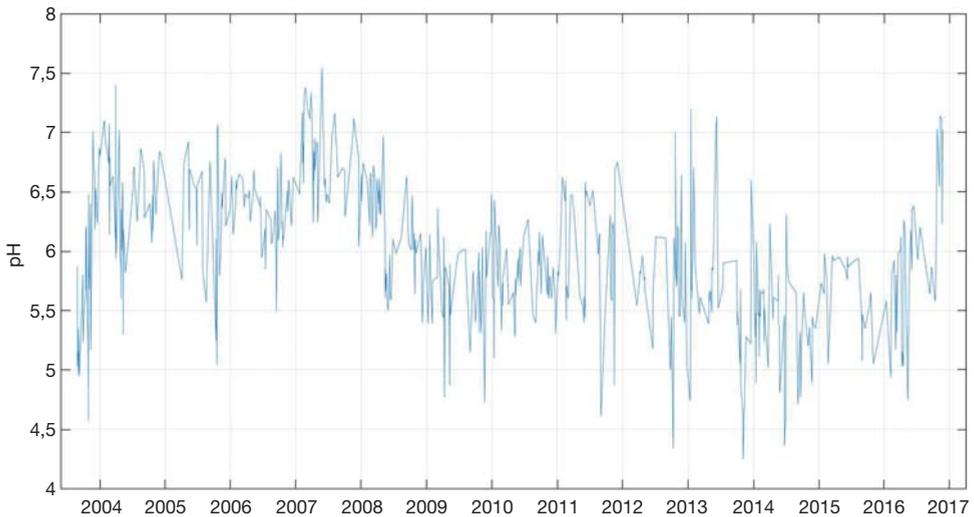


Fig. 1. Evolución del pH de la lluvia en Huesca entre 2004 y 2016.

Tabla II. Estadística anual del pH en los eventos de lluvia en Huesca (mín.: valor mínimo; Q1: primer cuartil; Q2: mediana; Q3: tercer cuartil; máx.: valor máximo registrado).

Año	Mín.	Q1	Q2	Q3	Máx.	Año	Mín.	Q1	Q2	Q3	Máx.
2003	4,58	5,15	5,67	6,21	7,01	2010	5,10	5,56	5,71	5,98	6,43
2004	5,30	6,18	6,52	6,77	7,40	2011	4,61	5,62	6,15	6,46	6,75
2005	5,04	6,05	6,49	6,69	7,06	2012	4,34	5,45	5,66	5,87	7,20
2006	5,50	6,13	6,37	6,52	6,83	2013	4,25	5,43	5,66	5,87	7,20
2007	6,04	6,56	6,81	7,05	7,54	2014	4,36	5,23	5,46	5,65	6,31
2008	5,40	5,93	6,12	6,47	6,97	2015	5,05	5,45	5,75	5,93	5,98
2009	4,73	5,44	5,83	6,01	6,48	2016	4,58	5,36	5,86	6,22	7,14

En total, un 25% de los eventos estudiados tienen un pH por debajo de 5,6, valor umbral para que se puedan considerar lluvia ácida. Este es un fenómeno complejo, con diversas causas como señalan BERNER y BERNER (1987), en su mayoría derivadas de la contaminación antrópica. El fenómeno ha perdido algo de la inquietud que despertó en el último tercio del siglo XX, por ejemplo, sobre el decaimiento de los bosques centroeuropeos, pero no deja de tener efectos poco deseables. Es cierto que en el entorno calcáreo de la hoya de Huesca, la acidez de la lluvia es neutralizada por el fuerte contenido en carbonato cálcico de suelos, rocas y sedimentos fluviales. Sin embargo, la lluvia ácida tiene un efecto negativo sobre las construcciones antiguas de arenisca oscense, al eliminar el cemento natural que liga esta roca ya de por sí poco cementada en muchos casos, aumentando la arenización de la roca. En la práctica, esto lleva al deterioro de los monumentos expuestos a la lluvia como, por ejemplo, los capiteles del claustro de San Pedro el Viejo.

Por otro lado, en los datos aparecen algunos valores de pH bastante altos. En unos casos pudiera deberse a la ya reseñada alcalinidad del polvo local. Sin embargo, también puede deberse a lluvias de barro de polvo atmosférico de origen africano, cuya alta alcalinidad ya fue señalada por LÖYE-PILOT y cols. (1986), ÁVILA y RODÀ (1991), ÁVILA y ALARCÓN (1999) y otros autores.

Para estudiar este posible efecto, se han recogido entre 2004 y 2010, de forma no sistemática ni exhaustiva, una serie de muestras de nieve en diversas localidades del Pirineo, sobre todo altoaragonés, donde se supone que el efecto del polvo local es menor. En algunos casos, era nieve parda, para comprobar los altos valores de pH obtenidos por CUCHÍ y MANSO (1997). Los datos se presentan en la tabla III.

La mayoría de las 42 muestras tienen bajas conductividades, mucho menores que los valores recogidos en Huesca y que están en relación con la menor erosión eólica de tipo terrígeno, especialmente en invierno cuando el manto nival recubre predominantemente el terreno circundante. Hay dos valores muy altos para los que no se tiene una explicación clara.

Los valores de pH “normales” son ligeramente ácidos. Diez muestras tienen un pH menor de 5,6 y se pueden considerar como nieves ácidas. Es

Tabla III. Datos básicos de la química del agua de nieve en el Pirineo del Alto Aragón. Precipitación (P) en mm. CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C.

<i>Localidad</i>	<i>Fecha</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>CE</i>	<i>pH</i>
Pico de Guara	4/1/2004	2060	210	8,26
Lecherines	15/2/2004	2011	10,4	5,18
Gallinero (Cerler)	22/1/2004	2400	41,9	9,19
Escuela Politécnica Superior de Huesca (Huesca)	20/2/2004	460	45,0	6,74
Sallent de Gállego	1/3/2004	1345	5,1	6,80
Tres Hombres (Formigal)	19/3/2004	2200	3,3	6,06
Valle de Aspe	17/5/2004	1800	5,1	5,68
Pico de Alba	9/5/2004	3100	8,8	5,40
Burrumbala	25/11/2004	2100	6,8	6,85
Belagua	4/2/2005	1362	7,2	5,81
Loma Verde	7/2/2005	2254	31,8	5,21
Gavarnie	16/2/2005	1828	10,1	5,72
Hospital de Benasque	21/2/2005	1812	8,7	5,14
Huesca	22/2/2005	460	6,02	7,40
Espelunciacha	27/2/2005	1895	08,7	4,73
Tavascán	27/2/2005	2000	11,5	5,74
Andorra	3/3/2005	2308	9,4	5,86
La Molina	7/3/2005	2415	9,9	5,63
Astún	14/3/2005	2140	4,0	5,76
Paderna (parda)	9/5/2005	2500	47,5	8,37
Paderna (110-142 centímetros)	9/5/2005	2500	7,1	6,71
Paderna (145-170 centímetros)	9/5/2005	2500	16,6	6,39
Paderna (218-236 centímetros)	9/5/2005	2500	3,6	6,01
Lizara	19/12/2005	1500	206	6,35
Ainielle	22/1/2006	1500	3,9	5,85
La Larri	5/2/2006	1550	2,1	6,26
Arañones	9/2/2006	1360	10,1	5,46
Pene Blanche	12/2/2006	2500	11,3	6,96
Rinconada de Tortiellas 1	7/2/2006	1850	5,2	5,73
Rinconada de Tortiellas 2	7/2/2006	1850	5,9	5,14
Rinconada de Tortiellas 3	7/2/2006	1850	6,0	5,55
Rinconada de Tortiellas 4	7/2/2006	1850	6,1	6,42
Rinconada de Tortiellas 5	7/2/2006	1850	3,0	5,81
Rinconada de Tortiellas 6	7/2/2006	1850	2,7	5,83
Tortiellas	28/3/2006	1850	4,4	6,04
Tortiellas	5/4/2006	1850	3,2	6,04
Tortiellas	25/4/2006	1850	5,3	6,57
Arroyeras	13/3/2007	2440	3,5	5,38
Midi Ossau	2/2/2008	1830	5,8	5,56
Formigal	16/11/2008	2130	28,0	9,07
Collado de los Monjes	20/4/2009	2200	4,2	5,14
Cangas	14/2/2010	2000	4,2	5,14

un porcentaje muy similar al que se ha observado en la lluvia. Aunque no se pueden comparar ambas series, evidencian que probablemente hay un factor lejano que influye en las precipitaciones.

Además, cuatro muestras son muy básicas, alguna claramente relacionada con nieve claro parda por precipitación de polvo sahariano. Son similares a los presentados por CUCHÍ y MANSO (1997). Los mayores valores de conductividad (Guara, 4 de enero de 2004; Lizara, 19 de septiembre de 2005) se presentan en muestras con pH básicos, pero hay valores de pH más altos con menores conductividades. Descartados los dos valores más altos, hay una ligera correlación positiva entre CE y pH ($r = 0,594$). En principio, una mayor presencia de polvo en la muestra produce, al fundirse la nieve y correspondientes reacciones en fase líquida, una mayor conductividad y un pH más alto.

CONCLUSIONES

Un estudio de larga duración sobre la lluvia en Huesca ha permitido conocer algunas de sus características químicas, señalando la presencia de lluvia ácida en esta localidad que puede tener efecto sobre la arenisca de los monumentos locales. La presencia de porcentajes similares de lluvia / nieve ácida sugiere, con mucha prudencia, una posible lejana causa común. Se constata en la conductividad eléctrica en la lluvia de la Escuela Politécnica Superior de Huesca, la presencia de polvo de origen natural y agrícola, en contraste con las muestras del manto nival pirenaico. Los episodios de lluvias de barro de origen sahariano quedan enmascaradas en la hoya de Huesca, pero se observan bien en el color y en los altos pH en la nieve.

Como tantas veces, es evidente la necesidad de estudios más detallados identificando, en la medida de lo posible, las trayectorias de las masas de aire con su química. También habría que profundizar en el análisis de los diversos iones, nitratos incluidos, presentes en la precipitación, así como en la naturaleza del polvo tanto local como transportado a larga distancia. Sería necesario disponer de un captador que solo recogiera las precipitaciones líquidas y un muestreo de la nieve, *in situ* y en tiempo real, identificando adecuadamente cada episodio

AGRADECIMIENTOS

Las muestras de nieve se tomaron con la ayuda de Carlos Calvo, Natalia Ayuso, Vanesa Bataller, Francisco Lera, Antonio Muñoz, Víctor Viñals, Antonio Gros, Lorenzo Ortas y otros amigos de la EMMOE, del GTE y del grupo de esquí de travesía de Peña Guara.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEMET (2010). Calendario meteorológico 2010. Disponible en http://www.aemet.es/documentos_d/conocer/recursos_en_linea/calendarios/cm-2010.pdf [consulta: 31/1/2017].
- ALASTUEY, A., X. QUEROL, A. CHAVES, C. R. RUIZ, A. CARRATALÁ y Á. LÓPEZ-SOLER (1999). Bulk deposition in a rural area located around a large coal-fired power station, northeast Spain. *Environmental Pollution*, 106 (3): 359-367.
- ÁVILA, Á., y F. RODÀ (1991). Red rains as mayor contributors of nutrients and alkali to terrestrial ecosystems at Montseny (NE Spain). *Orsis*, 6: 215-229.
- ÁVILA, Á., y M. ALARCÓN (1999). Relationship between precipitation chemistry and meteorological situations at a rural site in NE Spain. *Atmospheric Environment*, 33 (11): 1663-1677.
- ÁVILA, Á., y F. RODÀ (2002). Assessing decadal changes in rainwater alkalinity at a rural Mediterranean site in the Montseny Mountains (NE Spain). *Atmospheric Environment*, 36 (17): 2881-2890.
- BERNER, E. K., y R. A. BERNER (1987). *The global water cycle, geochemistry and environment*. Prentice Hall. Englewood Cliffs (NJ). 397 pp.
- BONET, A., N. DÍAZ-CANEJA, I. GUTIÉRREZ, J. SOTO y E. VILLAR (1984). Contaminación química del agua de lluvia de Santander y su correlación con la cantidad de precipitación y otras variables meteorológicas. *Revista de Meteorología. AME*, 3: 11-17.
- BONET, A., N. DÍAZ-CANEJA, I. GUTIÉRREZ, A. MARTÍNEZ y E. VILLAR (1988). A comparative study of the precipitation acidity in two cities in Cantabria (Spain) with different degrees of industrialization. *Water, Air and Soil Pollution*, 38 (1-2): 181-188.
- CAMARERO, L., y J. CATALÁN (1993). Chemistry of bulk precipitation in the central and eastern Pyrenees, northeast Spain. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 27 (1): 83-94.
- CUCHÍ, J. A., y J. A. MANSO (1997). Calidad química de la nieve del Pirineo altoaragonés en 1997. En *I Congreso Ibérico de Geoquímica – VII Congreso de Geoquímica de España (Soria)*: 427-433. CEDEX. Madrid.
- GONZÁLEZ, I., M. R. GONZÁLEZ, A. C. DE LA CRUZ, M. SERRANO y J. M. GRAU (2009). Variación estacional y geográfica de la composición química de la precipitación incidente en parcelas intensivas de la Red de Nivel II (ICP-FORESTS) en España. En *Actas V Congreso Forestal Español: 2/9-9/9*. Junta de Castilla y León. Ávila.

- HONTORIA, C., A. SAA, J. ALMOROX, L. CUADRA, Á. SÁNCHEZ y J. M. GASCÓ (2003). The chemical composition of precipitation in Madrid. *Water, Air and Soil Pollution*, 146 (1): 35-54.
- LÖYE-PILOT, M. D., J. M. MARTIN y J. MORELLI (1986). Influence of Saharan dust on the rain acidity and atmospheric input to the Mediterranean. *Nature*, 321: 427-428.
- MARÍN, E., N. LAVÍN, E. HERNÁNDEZ y A. RÚA (2001). Análisis de la acidez de la precipitación en la Península Ibérica. *Finisterra*, 36 (71): 103-113.
- SANZ, M. J., A. CARRATALÁ, C. GIMENO y M. M. MILLÁN (2002). Atmospheric nitrogen deposition on the east coast of Spain: Relevance of dry deposition in semi-arid Mediterranean regions. *Environmental Pollution*, 118 (2): 259-272.
- VÁZQUEZ, A., M. COSTOYA, R. M. PENA, S. GARCÍA y C. HERRERO (2003). A rainwater quality monitoring network: A preliminary study of the composition of rainwater in Galicia (NW Spain). *Chemosphere*, 51 (5): 375-386.
- VET, R., R. S. ARTZ, S. CAROU, M. SHAW, C. U. RO, W. AAS, A. BAKER, V. C. BOWERSOX, F. DENTENER, F. GALY-LACAU, A. HOU, J. J. PIENAAR, R. GILLET, M. C. FORTI, S. GROMOV, H. HARA, T. KHODZER, N. M. MAHOWALD, S. NICKOVIC, P. S. P. RAO y N. W. REID (2014). A global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and pH, and phosphorus. *Atmospheric Environment*, 93: 3-100.