

PROYECTO CICYT, HID 1999-0205

Salinización Asociada a la Precipitación y a las Aguas Subterráneas en distintas Áreas del Territorio Español Continental e Insular.

Ejecutor: IGME en coordinación con DIT/UPC

Investigador principal: Emilio Custodio (IGME/UPC)
Investigadores asociados: Loreto Fernández (IGME)
 Luis Moreno Merino (IGME)
 M^a. del Pilar de la Fuente (IGME)
 Itziar Vázquez (IGME)

Becario: Francisco J. Alcalá (IGME/UPC)

Informe interno n^o 3

Título:

Recopilación de datos bibliográficos sobre deposición atmosférica de cloruro al terreno

Fecha: Junio 2003

<i>Autores:</i>	Francisco J. Alcalá	IGME/UPC
	Con la colaboración de: Emilio Custodio	IGME/UPC

Resumen:

Se han recopilado datos bibliográficos de deposición atmosférica total de Cl para la evaluación de la recarga a diversos acuíferos españoles mediante métodos de balance salino. En el centro peninsular estos valores son del orden de 0,2-0,5 g·m⁻²·año⁻¹ y presentan gradientes de variación muy bajos. En la zona costera atlántica y mediterránea son claramente superiores y del orden de 10-30 g·m⁻²·año⁻¹ y 5-10 g·m⁻²·año⁻¹, respectivamente. En ambos casos existe un fuerte gradiente de concentración desde la línea de costa hacia áreas más interiores, estimado, aunque no cuantificado, en unos 0,5 a 1 g·m⁻²·año⁻¹·km⁻¹ y 0,2-0,5 g·m⁻²·año⁻¹·km⁻¹ respectivamente. Similar circunstancia se observa en las zonas insulares, aunque el gradiente supera 1 g·m⁻²·año⁻¹·km⁻¹. En la zona húmeda costera del norte peninsular la deposición húmeda y total son del mismo orden (diferencias de ~ 5-10 %) y están cifradas entre 10 y 15 g·m⁻²·año⁻¹. En zonas áridas del SE peninsular la contribución de polvo atmosférico a la deposición total es próxima al 50 %. En la zona del NE y SW peninsular estos porcentajes son de ~ 20 % y entre 10-20 % respectivamente. En las zonas urbanas la deposición total de Cl es elevada y variable según la localización, pero se constata un porcentaje de ~ 20-30 % de aporte de Cl derivado de la polución atmosférica.

1. INTRODUCCIÓN

El llamado factor o componente climático (Murphy *et al.*, 1996; Custodio, 1997) en la composición química de las aguas subterráneas es función directa de la composición química promedio de la precipitación atmosférica. Su conocimiento es esencial para explicar la concentración de ciertos iones mayoritarios en las aguas subterráneas contemporáneas, y también para establecer estimaciones de la recarga promedio a partir del balance químico de sustancias conservativas procedentes casi exclusivamente de la lluvia (Schoeller, 1963). Su composición química varía mucho con la distancia al mar, con la velocidad del viento, con la intensidad de precipitación y momento de muestreo, con la proximidad a ciudades, centros industriales, instalaciones mineras, rasgos del relieve, etc. (Drever, 1982; Custodio y Llamas, 1983; Löye-Pilot y Morelli, 1988).

Los métodos químicos ambientales para estimar la recarga por la precipitación se basan en el balance de un soluto conservativo, usualmente Cl, comparando la aportación por la lluvia con el contenido en el agua freática y agua de escorrentía (Custodio y Llamas, 1983; Iglesias *et al.*, 1996; Custodio, 1997). En régimen transitorio y en ausencia de aportes de Cl por el terreno, el agua subterránea freática recibe un flujo másico que coincide con la aportación por la lluvia, después de restar la escorrentía superficial directa y subsuperficial. Los cálculos se establecen para un periodo de tiempo suficientemente amplio en el que no tengan importancia los efectos de los periodos vecinos.

$$P \cdot P_C = I \cdot C_I + E \cdot C_E \quad [1]$$

donde: P = aportación pluviométrica, mm; I = recarga, mm; E = escorrentía directa y subsuperficial; C_P = concentración de ión Cl en la lluvia; C_I = concentración de ión Cl en la recarga; y C_E = concentración de ión Cl en la escorrentía directa y subsuperficial. En zonas donde el flujo másico correspondiente a la escorrentía es relativamente pequeño, el balance queda como:

$$P \cdot P_C = I \cdot C_I \quad [2]$$

los valores de P, I y E son acumulados en el periodo o las medias en el mismo, y P_C , C_I y C_E las concentraciones medias. Los productos $P \cdot P_C$, $I \cdot C_I$ y $E \cdot C_E$ son las aportaciones en el periodo o bien las aportaciones medias según convenga.

El ión Cl no intercambia con el medio, es estable químicamente, y tiene alta solubilidad, origen conocido y una medida relativamente fácil y precisa por diferentes métodos analíticos. La caracterización eficaz del aporte salino por la lluvia requiere un muestreo adecuado, espaciado en el tiempo con una frecuencia de muestreo y número de estaciones que permita observar las variaciones en la composición química de la lluvia. Se han de emplear técnicas analíticas que permitan determinar las bajas

concentraciones minerales comunes en la precipitación (Ritcher *et al.*, 1983; Custodio *et al.*, 1985; Rosenthal, 1987).

Uno de los objetivos del proyecto de la DGCYT: HID1999-0205: *Análisis de recarga a los acuíferos españoles a través del balance hidrogeoquímico y aplicación de componentes menores e isotópicos ambientales para caracterizarlo* es evaluar la deposición total atmosférica de Cl en el territorio español (área peninsular e insular). Para ello se ha realizado una recopilación bibliográfica de trabajos que incluyen datos de deposición total, seca y húmeda de Cl.

Habitualmente el aporte de sales atmosféricas se determina a partir de la suma acumulada de sucesivas mediciones de la precipitación y la concentración salina del agua acumulada en periodos temporales conocidos (Δt). Se supone que esta aportación es igual a la deposición sobre el terreno, para un período suficientemente representativo.

$$\text{El aporte de soluto vale } \Delta A = C \cdot \Delta P \quad [3]$$

ΔP = precipitación recogida en Δt , y C = concentración salina de la precipitación acumulada.

La mayoría de trabajos bibliográficos consultados tienden a aproximar este valor de deposición total mediante el análisis químico de algunos eventos de lluvia del total de eventos que se producen. De esta forma se obtiene un valor medio ponderado del contenido salino que se compara con el volumen de precipitación total recogido. Este método, usado de manera habitual en cálculos de aporte salino en estudios agronómicos con el fin de obtener tasas de deposición medias, no permite conocer el valor real de deposición total, proporcionando únicamente un valor orientativo y dentro del orden de magnitud del que debe producirse por deposición total mediante un muestreo acumulado de toda la deposición.

Los resultados que así se obtienen comparados con los obtenidos mediante el método de muestreo acumulado, utilizado principalmente en estudios hidrogeológicos, suelen presentar diferencias de tipo lineal variables inferiores a un 10 % debidas a que no se suelen analizar pequeñas lluvias con alto contenido salino, aunque estas diferencias no son lo suficientemente grandes como para desechar los valores de deposición total obtenidos mediante el estudio de concentraciones medias salinas. No obstante, cuando han sido escasos los análisis químicos de algunas lluvias se han observado diferencias superiores a un 30 % entre los valores de deposición total obtenidos a partir de ambos métodos, que inevitablemente hacen desechar el valor obtenido mediante técnicas de análisis parcial de lluvias. Estos aspectos han quedado patentes en estudios en realización de diferentes estaciones meteorológicas pertenecientes a la Red de Vigilancia Atmosférica del INM (informe nº 7 del proyecto CICYT, HID 1999-0205) y en algunos puntos donde existen datos del mismo periodo temporal obtenidos mediante los dos métodos.

2. DATOS BIBLIOGRÁFICOS

La información bibliográfica obtenida se ha ordenado respetando las fuentes de información originales, por zonas territoriales peninsulares e insulares españolas.

Los datos bibliográficos incluyen valores de deposición total de Cl (deposición que incluye el contenido salino de la lluvia y del polvo atmosférico), deposición húmeda de Cl (únicamente la deposición asociada a la lluvia) y deposición seca de Cl (deposición que incluye únicamente el aporte debido al polvo atmosférico). Los resultados se describen de forma separada en las Tablas I, II y III respectivamente.

La mayoría de los trabajos consultados que incluyen información referente a deposición total de Cl, suelen aportar valores medios, aritméticos o ponderados, de la concentración de Cl del agua de lluvia recogida en eventos lluviosos sucesivos, que son acumulados durante un periodo temporal amplio.

Los valores obtenidos de deposición húmeda incluyen igualmente determinaciones del contenido aritmético o ponderado del contenido de Cl para un número de eventos lluviosos inferior al total registrado, no existiendo valores de deposición obtenidos mediante muestreos sucesivos acumulados de deposición húmeda para un periodo temporal de al menos un año.

En algunos estudios que determinan el valor de deposición total se ha observado que el muestreo utilizado tiende a infravalorar los contenidos salinos procedentes de la deposición seca debida al polvo atmosférico. La causa suele ser, en la mayoría de los casos, el especial interés en determinar el aporte medio salino característico de algún compuesto químico y no el valor de deposición total, que incluiría también pequeños eventos lluviosos de alta concentración salina y eventos de deposición seca de especial importancia en cuanto a aporte de solutos. Este último aspecto es todavía más importante en climas áridos, donde el aporte de polvo atmosférico suele constituir una parte importante de la deposición total.

Algunos trabajos bibliográficos que incluyen estudios con una duración de varios años permiten interpretar la distribución plurianual de precipitaciones y su contenido salino medio. En estos casos, tanto el cálculo de la deposición total como de la deposición húmeda tiene una mayor incertidumbre que el haber analizado parcialmente la precipitación, ya que este valor medio y desviación típica asociada incluyen años con valores de deposición total o húmeda extremos que permiten obtener una idea más acertada sobre el rango real de deposición total en ese emplazamiento.

Con todos estos valores recopilados se ha aproximado un valor medio, en algunos casos de forma tentativa, de la deposición total, húmeda y seca de Cl al terreno para el periodo temporal estudiado en cada caso, habiendo realizado una conversión de unidades para presentarlos conjuntamente en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$. La información obtenida se refiere a diferentes años y periodos temporales de muestreo, por lo que su comparación

está sujeta a errores diversos, tales como diferencias entre diferentes años, métodos de muestreo utilizados o duración y representatividad del estudio, que hacen que estos valores de deposición total, húmeda y seca de Cl presenten una notable incertidumbre asociada.

En las Tablas I, II y III se indica la toponimia y código asignado a cada estación, su localización geográfica, altura topográfica (m.s.n.m.), distancia al mar (km), contenido medio en Cl de la lluvia (mg/L), precipitación media anual (mm), ambiente del muestreo, periodo de muestreo y valor de deposición total de Cl ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$) referido a un año. En algunos casos los datos referentes a altitud topográfica y distancia al mar de algunas estaciones se han obtenido de un Atlas Digital publicado en página web (Pueblos de España, 2000), que incluye la localización geográfica de la mayoría de localidades españolas y su cota topográfica.

De igual forma, los valores obtenidos se han representado gráficamente en el mapa I, proponiendo una zonación de la deposición total de Cl en el territorio español a partir de dichos valores y otros generados en diversos estudios actualmente en elaboración por este mismo grupo de investigación.

2.1. Comunidad valenciana

Los datos recopilados aparecen publicados en un estudio realizado por Carratalá *et al.* (1998), donde se retoman datos obtenidos en un estudio previo (Carratalá, 1993). Se han obtenido datos de deposición total de Cl en 27 estaciones de muestreo repartidas por toda la Comunidad Valenciana, con distancias entre ellas de ~ 50 km. El periodo de muestreo ha sido de 2 años (octubre de 1989 a diciembre de 1991), aunque en algunas estaciones sólo fue posible tomar muestras durante un tiempo inferior (estación de Ayora). El muestreo se ha realizado en zonas industrializadas, parajes rurales, urbanos, zonas costeras, etc. (mapa I).

La distribución de deposición total de Cl presenta una distribución de valores máximos paralela a la costa de dirección NE-SW, mientras que en el interior las concentraciones de Cl disminuyen progresivamente. Se ha descrito cierto condicionante climático de la deposición en algunas estaciones con escasa precipitación, donde la deposición total de Cl deriva en un alto porcentaje de la deposición de polvo atmosférico, pero no ha sido cuantificado. Otros condicionantes han sido la altitud, barreras orográficas y distancia a la costa. El origen mayoritario del Cl se debe al aporte de aerosol marino; el aporte derivado de la actividad industrial y urbana es también importante pero puntual. Estas actividades se localizan principalmente en las zonas costeras, por lo que el incremento del aporte de Cl en éstas corresponde a la suma de aportes derivados de origen industrial y del aerosol marino. El aporte de Cl de origen continental o desde masas de aire africanas ha sido también constatado, aunque en porcentajes bajos y con un claro condicionante estacional.

Los resultados obtenidos en diferentes trabajos y presentados en Carratalá *et al.* (1998) aparecen en la Tabla I y quedan representados en el mapa I.

La metodología para la obtención de la deposición total ha consistido en el análisis químico de una importante fracción de la precipitación total recogida (entre un 80 y 90 % del total) agrupada en varias muestras acumuladas de diversos eventos lluviosos durante 2 años. Se ha determinado el valor medio ponderado del contenido en Cl de todas estas muestras acumuladas. Este contenido medio de Cl se ha comparado con el volumen total de precipitación recogido durante los dos años de estudio, proporcionando el valor medio anual de deposición total de Cl para dos años de estudio en cada estación.

Referencias bibliográficas específicas:

- Carratalá, A. (1993). *Caracterización química de la precipitación en la Comunidad Valenciana. Distribución espacial y temporal*. Tesis Doctoral. Univ. de Alicante.
- Carratalá, A., Gómez, A. y Bellot, J. (1998). Mapping rain composition in the east of Spain by applying kriging. *Water, Air and Soil Pollution*, 104: 9-27.

2.2. Estaciones Biológicas Experimentales

Se han recopilado datos de deposición total de Cl de varios estudios agronómicos realizados en algunas Estaciones Biológicas Experimentales españolas, la mayoría derivados del proyecto LUCDEME, del Ministerio de Medio Ambiente, de estudio edafológico de zonas áridas.

2.2.1. Estación Biológica Experimental de l'Avic (Tarragona)

En el trabajo de Bellot y Escarré (1988) aparecen datos pluviométricos y del contenido medio de Cl tomados en la Estación Experimental de l'Avic, en la Serra de Prades (Tarragona). Se ha contado con datos de análisis químicos de lluvia referentes a los años 1981, 1982 y 1983, aunque el registro pluviométrico utilizado para el cálculo de la deposición total comprende el periodo de 1981 a 1986. Este registro ha permitido obtener un valor medio de la precipitación anual, semejante al de la estación pluviométrica de Riudabella (Tarragona) con registro de 20 años. Los resultados obtenidos por Bellot y Escarré (1988) aparecen recogidos en la Tabla I.

Estos autores proponen un origen del Cl de deposición total asociado principalmente al aerosol marino, con un porcentaje algo inferior al 5% para otros orígenes, principalmente continental. Se ha obtenido un valor de deposición total de Cl de $\sim 0,9 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$, del que prácticamente un 25 % proviene de la deposición seca, según estudios de Bellot y Escarré (1989).

2.2.2. Estación Biológica Experimental de la Castanya (Barcelona)

Se han recopilado los datos de deposición total de Cl obtenidos en el trabajo de Rodà *et al.* (1990) referentes a la Estación Experimental Biológica de La Castanya, en el Macizo del Montseny (Barcelona). Estos autores recogen datos anteriormente publicados por Ávila (1986) en la misma estación. El periodo de estudio comprende dos etapas con muestreo de deposición total y análisis de la misma entre 1978-1980 y 1983-1985. El origen del Cl lo establecen como debido principalmente al aporte del aerosol marino, aunque con influencia de aporte urbano del área metropolitana de Barcelona y procedente de la actividad industrial de localidades próximas, ambos de origen continental.

Ávila (1996) aporta nuevos datos de la deposición total en la estación de La Castanya (Montseny) para un periodo más amplio entre 1983 y 1994. El valor medio de deposición total obtenido para este periodo es de $\sim 0,9 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$. Este valor medio y su desviación típica incluye los resultados obtenidos por Rodà *et al.* (1990). Los resultados aparecen en la Tabla I y pueden ser observados en el mapa I. En el Trabajo de Rodrigo y Ávila (2002) se aportan datos sobre la deposición seca registrada durante 1996 en la estación de La Castanya y en la Riera de Sant Pere, siendo respectivamente de 0,2 y 0,3 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ (Tabla III y mapa I). El valor de deposición seca en la La Castanya corresponde a $\sim 20 \%$ de la deposición total registrada para un periodo de tiempo superior. El mayor aporte por deposición seca en la zona de la Riera de Sant Pere está ligado a la influencia industrial cercana.

2.2.3. Otras estaciones biológicas experimentales

En el trabajo de Bellot y Escarré (1988) se citan además resultados obtenidos en las estaciones biológicas experimentales de Albaterra (Alicante), según com. pers. de Sánchez y Chirino, y de La Violada (Huesca), según com. pers. de Aguinaco. También se incluye un valor de deposición total de Cl obtenido en la Estación Biológica Experimental de Santiago de Compostela, publicado por Calvo de Anta *et al.* (1979).

Referencias bibliográficas específicas:

- Ávila, A. (1986). Composición química de la lluvia en el Montseny, en: Bases ecológicas para la gestión del medio ambiente. Montesquiu, Diputación de Barcelona.
- Ávila, A. (1996). Time trends in the precipitation chemistry at a mountain site in Northeastern Spain for the period 1983-1994. *Atmos. Environ.*: 30(9): 1363-1373.

- Bellot, J. y Escarré, A. (1988). Balances de nutrientes en pequeñas cuencas de encinar. II. Quimismo de la precipitación y aportes de origen atmosférico. *Mediterránea Ser. Biol.* 10: 63-85.
- Bellot, J. y Escarré, A. (1988). Contribución del quimismo del agua de lluvia, de la deposición seca y lixiviación, sobre la química de los flujos de transcolación y escorrentía cortical en el encinar mediterráneo. *Options Méditerranéennes.* 3: 211-214.
- Calvo de Anta, R., González, P. y Díaz, J. (1979). Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia. II. Aportes de elementos por lavado de cubierta y tronco. *Anal. Edaf. y Agrobiología.* 1675-1691.
- Rodà, F., Ávila, A. y Bonilla, D. (1990). Precipitation, throughfall, soil solution and stream-water chemistry in a holm-oak (*quercus ilex*) forest. *J. Hydrology.* 116: 167-183.
- Rodrigo, A y Ávila, A. (2002). Dry deposition to the forest canopy and surrogate surfaces in tow mediterranean holm oak forest in Montseny (NE Spain). *Water, Air, and Soil Pollution.* 136: 269-288.

2.3. País Vasco

2.3.1. Área metropolitana de Bilbao (Vizcaya)

Se han obtenido datos de deposición total de Cl del área metropolitana de Bilbao (Elejalde *et al.*, 1981). Estos datos sólo incluyen valores de composición química de la deposición total de Cl en 6 estaciones situadas en área metropolitana de Bilbao (Vizcaya) y zonas próximas, pero no incluyen datos de la precipitación colectada. El periodo de muestreo fue desde el 29 de diciembre de 1975 al 27 de diciembre de 1976 con una frecuencia de muestreo de 28 días (Gracia y Elejalde, 1977). Los datos de precipitación no están presentes, por lo que se han adoptado, para toda el área estudiada, el registro pluviométrico del Aeropuerto de Bilbao-Sondica (1138,2 mm) durante este período. Los datos han sido aportados por el Instituto Nacional de Meteorología. Todas las poblaciones quedan incluidas dentro de un radio inferior a 20 km entre ellas y no existen diferencias altimétricas considerables, por lo que se puede considerar este valor de precipitación como válido, en líneas generales, para todas ellas. Los resultados aparecen en la Tabla I y mapa I, donde a falta de mayor precisión sobre la precipitación en cada estación, puede observarse como existe una gradación desde valores altos de deposición total en las zonas más próximas al mar (Estaciones de Erandio y Baracaldo) y más industrializadas, con valores entre 8 y 9,5 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$, hasta las zonas de interior (Est. de Ceberio), con valores en torno a 3,1 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$. En Bilbao se obtienen valores intermedios entre ambas de $\sim 5,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$.

Aranguiz *et al.* (2002), mediante la instalación de filtros de aire para la captación de material particulado atmosférico inferior a 10 micras durante 1996, establecieron valores de deposición seca de Cl en la ciudad de Bilbao del orden de $1,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$. Este valor corresponde a $\sim 25 \%$ del valor de deposición total de Cl obtenida por Gracia y Elejalde (1977). La deposición total de Cl producida en la ciudad de Bilbao es atribuida en $\sim 85\text{-}90 \%$ a aporte asociado al aerosol marino, quedando el resto asociada a aportes de origen industrial y urbano.

2.3.2. Vitoria (Álava)

Se han utilizado datos publicados por Ecurra *et al.* (1998) referentes a la deposición total de Cl producida en el Colegio Universitario de Vitoria (Álava) durante 1986. Para ello se muestrearon 52 eventos de lluvia, que han supuesto un volumen de lluvia analizado de 304 mm, para un total de lluvia anual recogida de 663 mm. El valor de deposición total de Cl obtenido es de $\sim 0,8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$, presentando un valor de desviación típica del análisis de Cl superior al valor de la media, lo que indica que esta cifra pueda ser poco representativa, pudiendo ser del orden de $1,0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$. Los resultados aparecen en la Tabla I y se representan en el mapa I. Según estos autores, la fuente principal de Cl proviene del aerosol marino, según indican las relaciones Cl/Na y análisis factorial realizado, aunque existe un apreciable aporte de origen urbano.

2.3.3. Área montañosa del interior de Vizcaya

Se han incluido los resultados publicados por Antigüedad (1988) referentes al contenido de Cl del agua de lluvia tomada en los pluviómetros de Itxina (980 m.s.n.m.) y Aramotz (630 m.s.n.m.), localizados en la zona de divisorias de cuencas hidrográficas internas vascas. El muestreo se realizó mensualmente (12 muestras en cada estación) durante el periodo de 1984 a 1985. Para ello se recogió una muestra mensual acumulada de toda la precipitación registrada en un mes. Los contenidos medios de Cl han sido respectivamente de 3,75 y 4,68 mg/L. Los valores de precipitación no fueron medidos, habiendo estimado el valor medio de precipitación de cada emplazamiento en función a los registrados para un periodo de 10 años en localidades cercanas. Los valores de precipitación obtenidos han sido de 1500 y 1100 mm/año respectivamente.

Con estos valores se obtienen valores orientativos de deposición total de Cl de 5,6 y $5,1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ respectivamente para cada estación (Tabla I y mapa I).

El contenido de Cl está presente principalmente en las lluvias de verano, siendo las invernales muy poco mineralizadas (efecto de dilución), poniéndose de manifiesto un efecto de concentración durante periodos de menor pluviosidad pero de más intensidad pluviométrica. El origen de la lluvia es casi exclusivamente atlántico (Antigüedad, 1988).

Haciendo un transecto desde la zona litoral vasca hasta la zona de interior se observa un gradiente de concentración de Cl desde la zona más próxima a la costa (valores medios ponderados de Cl superiores a 5 mg/L) hacia el interior, con valores de Cl en torno a 1 mg/L. Los valores de precipitación aumentan con la altitud.

Referencias bibliográficas específicas:

- Antigüedad, I. (1988). Estudio de acuíferos kársticos a partir de sus respuestas naturales. Aplicación a dos sistemas del País Vasco. *Rev. Soc. Geol. España*. 1(1-2): 211-227.
- Aranguiz, I., Barona, A. y Gurtubai, L. (2002). Chemical analyses after consecutive extraction of inorganic components in suspended particulate matter in Bilbao (Spain). *Water, Air, and Soil Pollution*. 134: 41-55.
- Gracia, I. y Elejalde, C. (1977). Contenido de diversos elementos en aguas de lluvia de Vizcaya. *Ingeniería Química*. 102: 185-191.
- Elejalde, C., Gracia, I. y Gurtubay, L. (1981). Determination of Biscay Atmospheric Pollution by Rainwater Analysis. *Analytical Proceedings*. 18(5): 191-196.
- Escurrea, A., Casado, H., Lacaux, J.P. y García, C. (1988). Relationships between meteorological situations and acid rain in Spanish Basque Country. *Atmos. Environ*. 22(12): 2779-2786.

2.4. Campo de Gibraltar (Cádiz)

Se ha recopilado información referente a la deposición total producida en algunas localidades del Campo de Gibraltar desde septiembre de 1982 a septiembre de 1983 (Usero y Gracia, 1986). Para ello se instalaron 27 tomamuestras repartidos por todo el territorio estudiado, que abarca una superficie de unos 10 km². No se dispone de información numérica referente a la pluviometría registrada en estas 27 estaciones ni del contenido de Cl individual de cada estación. Usero y Gracia (1986) sólo aportan información gráfica de la que se ha podido extraer un volumen aproximado de precipitación media anual y de contenido medio de Cl para las estaciones de San Roque, Algeciras, La Línea, Los Barrios, Almoraima y Taraguilla. Los valores de deposición total de Cl en estas estaciones se han estimado respectivamente en 7,4; 6,9; 29,9; 6,7; 4,2 y 6,2 g·m⁻²·año⁻¹. Para el conjunto de estaciones se ha observado una variación estacional de la deposición de Cl, con máximos en noviembre de 1982, febrero y abril de 1983, de hasta 30 g·m⁻²·año⁻¹, y mínimos durante el verano de 1983, del orden de 3,6 g·m⁻²·año⁻¹. Los valores menores se localizan en las estaciones a cota más elevada y resguardadas del régimen de vientos local de dirección E-W, mientras que los valores mayores corresponden a las estaciones costeras (Estación de La Línea), donde la

deposición seca es muy importante y el régimen de vientos muy intenso. El resto de estaciones, localizadas en núcleos urbanos y polígonos industriales, presentan valores variables pero superiores a las localizadas en parajes rurales. Estos autores indican que la principal fuente de Cl proviene del aerosol marino, quedando el aporte de Cl de origen industrial en segundo lugar.

Este trabajo también incluye datos referentes a deposición total de Cl en varias ciudades andaluzas y del SE español, a modo de comparación con los resultados obtenidos. Usero *et al.* (1983) indican que la deposición total en la ciudad de Sevilla es de $6,4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ y que la deposición total registrada en las ciudades de Almería y Cartagena (Murcia) es respectivamente de 5,1 y $30,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ (Ruiz y Usero, 1983).

Referencias bibliográficas específicas:

- Ruiz, V. y Usero, J. (1983). Dust analysis. In: *Proceeding of the International Workshop*. Tabernas (Almería), Spain. Vol: 2.2, 1-23.
- Usero, J., Ternero, M. y Gracia, I. (1983). Estudio de la contaminación atmosférica de la Ciudad de Sevilla por partículas sedimentables-II. Fracción soluble. *Ingeniería Química*. 177: 113-117.
- Usero, J. y Gracia, I. (1986). Trace and major elements in atmospheric deposition in the "Campo de Gibraltar" region. *Atmos. Environ.*: 20(8): 1639-1646.

2.5. Pirineos centrales

Se ha recopilado información sobre la deposición total de Cl producida durante el periodo comprendido entre agosto de 1987 y agosto de 1988 en cuatro estaciones (La Molina, Sallente, Tavascan y Vielha) localizadas en los pirineos centrales (Camarero y Catalán, 1993). En este trabajo se realizó la medición de todos los episodios de lluvia que conformaron la precipitación total. Posteriormente se seleccionaron 50 episodios de lluvia en cada estación para su posterior análisis químico, obteniendo un valor medio ponderado de la concentración de Cl y un valor medio ponderado del volumen de precipitación de cada evento lluvioso analizado en cada estación. A partir de estos datos se ha obtenido un valor medio aproximado de la deposición total de Cl característica para el periodo de estudio en cada estación, de 1,2; 1,4; 0,6 y $0,7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ respectivamente. Una de las conclusiones obtenidas en este trabajo es que el factor altitudinal no condiciona el aumento del contenido en Cl del agua de lluvia; en cambio, la orografía local si controla la cantidad de lluvia y en consecuencia la deposición total de Cl. El origen propuesto para el Cl es mayoritariamente proveniente del aerosol marino atlántico. En la Tabla I se describen los resultados obtenidos y las características geográficas, y en el mapa I se muestra su localización geográfica.

Referencias bibliográficas específicas:

Camerero, L. y Catalán, J. (1993). Chemistry of bulk precipitation in the central and eastern Pyrenees, Northeast Spain. *Atmos. Environ.* 27A(1): 83-94.

2.6. Zona costera del NW e interior del NE de Portugal

2.6.1. Ciudad de Aveiro y zonas adyacentes

Se ha recopilado información acerca de los valores de deposición húmeda de Cl obtenidos por Casimiro *et al.* (1991) en un pluviómetro instalado en la Universidad de Aveiro (Portugal) entre octubre de 1985 a octubre de 1989. Aveiro se localiza muy próxima a la costa atlántica, entre las ciudades de Coimbra y Oporto. Se dispone del volumen de lluvia anual recogido y de las concentraciones medias de Cl medidas en cada evento lluvioso. Los eventos lluviosos fueron más importantes en primavera y otoño, registrándose durante el verano tan sólo el 8% del total de la precipitación. El valor medio ponderado anual de deposición húmeda de Cl obtenida durante estos cuatro años ha sido de $4,7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$, con una precipitación media de 881 mm. Los valores de Na/Cl (en meq/L) encontrados, del orden de 0,86, indican una procedencia principal del Cl a partir del aerosol marino atlántico. Los resultados aparecen descritos en la Tabla II y expresados en el mapa I.

Condesso de Melo (2002) aporta datos de deposición total de Cl en 3 estaciones próximas a la ciudad de Aveiro y en la propia Universidad de Aveiro, tomados mediante colectores abiertos convencionales. Dichas estaciones son: Aveiro, Albergaria a Velha y Oliveira do Bairro. El periodo de muestreo fue desde octubre de 1985 a octubre de 1989. Las concentraciones medias ponderadas de Cl obtenidas fueron de 5,3; 3,6 y 3,4 mg/L respectivamente. Estas estaciones se localizan, respectivamente, a alturas de 3, 131 y 60 m.s.n.m. y a 8,1; 21,3 y 24,9 km de la costa. Los valores de deposición total de Cl han sido respectivamente de 4,8; 4,6 y $3,6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$. Se observa una disminución de la deposición de Cl tierra adentro, posiblemente asociado a la rápida deposición de sales cerca de la costa.

Las escasas diferencias entre el valor de deposición total y húmeda de Cl en Aveiro están ligadas a que casi todo el aporte de Cl está ligado a los eventos lluviosos. El origen de la precipitación propuesto por Condesso de Melo (2002) es principalmente de origen atlántico, aunque existe influencia continental, principalmente en verano.

2.6.2. Zona Norte y NE de Portugal

Se han recopilado datos pluviométricos y de contenido químico de lluvias en las estaciones Viana do Castelo (litoral), Viana do Castelo (ciudad), Braga, Paranhos,

Junceda, Carris, Caldas da Saúde y Melgaço en el N y NE de Portugal durante 1997 y 1998, hasta completar un periodo en torno a un año (Lima, 2002). Estas estaciones pertenecen a la Red Meteorológica de la región de Minho (Portugal).

El muestreo se ha realizado en pluviómetros convencionales abiertos de PVC, tomando varias muestras acumuladas de deposición total (lluvia y polvo atmosférico) durante el periodo de estudio (Tabla I). El número de muestras oscila entre 6 y 25, siendo algunas de nieve a cota superior a 1000 m. Se dispone del valor medio ponderado anual de precipitación para un periodo plurianual superior a 30 años y del contenido medio de Cl para el periodo estudiado (Tabla I). Los valores medios de precipitación son respectivamente de 1492, 1500, 1489, 1692, 2797, 3450, 1550 y 2200 mm/año, existiendo un gradiente desde la línea de costa hacia el interior. Se constata la presencia de barreras orográficas de dirección principal SW-NE. La lluvia se asocia mayoritariamente al régimen de vientos principal de dirección NW-SE, y presenta un gradiente altitudinal de 75 mm/100 m en las estaciones orientadas al N, de 141 mm/100 m en las estaciones orientadas al S y de 139 mm/100 m en las estaciones de orientación E-W (Lima, 2002).

El ámbito de muestreo va desde la línea de costa hasta altitudes superiores a 1500 m y distancias de 70 km de la línea costera, tanto en zonas urbanas, industriales, costeras, forestales y de alta montaña.

Los contenidos medios ponderados de Cl son respectivamente de 46,4; 12,9; 4,9; 3,9; 3,4; 1,8; 6,6 y 5,7 mg/L, existiendo un importante gradiente exponencial de la concentración de Cl desde la línea de costa (46,4 mg/L) hacia el interior (1,8 mg/L a 70 km de la costa). Lima (2000) describe isolíneas de contenido de Cl de la precipitación que son paralelas a la costa.

Los valores de deposición total de Cl han sido respectivamente de 69,2; 19,3; 7,2; 6,6; 9,4; 6,2; 10,3 y 12,6 g·m⁻²·año⁻¹ (Tabla I y mapa I). El uso del valor medio del contenido de Cl para un periodo de muestreo reducido y el valor anual de precipitación hace que los valores de deposición obtenidos tengan cierta incertidumbre asociada.

Entre un 80 y un 96 % del total del Cl depositado en todas las estaciones proviene del aerosol marino y está asociado principalmente a la deposición húmeda. Se han descrito porcentajes de deposición de Cl asociados a emisiones de origen urbano e industrial que van del 15 al 20 %.

En ambas zonas estudiadas en Portugal se observa una alta pluviosidad de origen atlántico y una deposición total de Cl asociada prácticamente a la deposición húmeda de Cl, pudiendo constituir un buen ejemplo para posteriores correlaciones entre ambas en zonas españolas de similares características geográficas y climáticas. La diferencia entre deposición total y húmeda de Cl determinada en Aveiro es inferior al 5 %.

Referencias bibliográficas específicas:

- Casimiro, A., Pio, M., Salgueiro, L. y Nunes T. V. (1991). Seasonal and air-mass trajectory effects on rainwater quality at the South-Western european border. *Atmos. Environ.* 25A(10): 2259-2266.
- Condesso de Melo, M.T. (2002). *Flow and hydrogeochemical mass transport model of the Aveiro Cretaceous multilayer aquifer (Portugal)*. Tesis Doctoral. Univ. de Aveiro. 368 pp.
- Lima, A.S. (2002). *Hidrogeologia de terrenos graníticos. Minho – noroeste de Portugal (Portugal)*. Tesis Doctoral. Universidade do Minho. 451 pp.

2.7. Zona NE de Galicia

Se ha recopilado información referente a la deposición húmeda de Cl colectada desde septiembre de 1988 a mayo de 1989 en tres estaciones próximas a la central Térmica de As Pontes (A Coruña). El radio desde la central a las estaciones pluviométricas no supera los 20 km (Prada-Sánchez *et al.*, 1993). Estas estaciones son Muras (Lugo), Viveiró (Lugo) y As Pontes (A Coruña). La lluvia anual en la zona suele oscilar en torno a 1800 mm, no habiendo muestreado los meses menos lluviosos de verano (junio-agosto). Las direcciones preferenciales de vientos son SSW-NNW, N-ENE y E-S. Durante el periodo de estudio se registraron 149 días con lluvia, que fueron muestreados con un equipo de muestreo secuencial automático de recogida de la precipitación mediante un sensor acoplado de lluvia. Prada-Sánchez *et al.* (1993) sólo proporcionan valores medios de precipitación diaria, que oscilan entre 10 y 14 mm·día⁻¹ y concentraciones medias de Cl de estas lluvias entre 5 y 8,5 mg/L. Con estos valores y el número de días de muestreo se puede aproximar un valor anual de la deposición húmeda en cada una de las tres estaciones pluviométricas de la zona, oscilando entre 7,5 y 10 g·m⁻²·año⁻¹. En general la lluvia presenta valores de pH de 4 a 5 con un dominio de los cationes de origen marino. El Cl presenta un origen marino atlántico. Los resultados se muestran en la Tabla II y en el mapa I.

La deposición total de Cl está prácticamente constituida por la deposición húmeda, pudiendo admitir los valores de deposición húmeda como equiparables a los que deben producirse de deposición total en esta zona, tal y como se ha descrito para la localidad de Aveiro (Portugal), con similar clima.

Referencias bibliográficas específicas:

- Prada-Sánchez, J.M., García-Jurado, I., González-Manteiga, W., Fiestras-Janeiro, M.G., Espada-Ríos, M.I. y Lucas-Domínguez, T. (1993). Multivariate statistical analysis of precipitation chemistry in Northwestern Spain. *Water, Air, and Soil Pollution.* 63: 37-55.

2.8. Ciudad de Santander

Se ha recopilado información referente a la deposición total de Cl en la ciudad de Santander (Díaz-Caneja *et al.*, 1989). El muestreo se realizó en dos periodos temporales; el primero desde julio de 1980 a julio de 1983; el segundo desde abril de 1984 a abril de 1985. La estación de muestreo se localizó en la azotea de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Santander, a 0,5 km del mar. El método de muestreo consistió en la instalación de un colector permanentemente abierto que permitía la entrada de la deposición húmeda y polvo atmosférico. El colector era lavado con agua destilada cada vez que se recogía una muestra. La lluvia colectada durante los cuatro años de estudio ha oscilado entre 1114 a 1291 mm·año⁻¹. Los valores medios anuales de concentración de Cl y desviación típica se obtuvieron únicamente para el periodo de julio de 1982 a julio de 1983 y desde abril de 1984 a abril de 1985, no habiéndose realizado análisis de Cl para el periodo de julio de 1980 a julio de 1982. La concentración media de Cl de los diferentes eventos lluviosos oscila entre 17±4 y 13,9±1,9 mg/L para el primer y segundo periodo de muestreo respectivamente. Con estos valores y el valor de precipitación recogida se puede aproximar el valor de deposición total en la ciudad de Santander entre 18 y 19 g·m⁻²·año⁻¹, proponiendo un valor de deposición total de Cl de 18,5 g·m⁻²·año⁻¹. En general la lluvia presenta un dominio de los cationes de origen marino, aunque la cercanía de diferentes zonas industriales de importancia (Asturias y País Vasco) hacen que los aportes de origen industrial sean apreciables. Los resultados se muestran en la Tabla II y mapa I.

Referencias bibliográficas específicas:

Díaz-Caneja, N., Bonet, A., Gutierrez, I., Martínez, A. y Villar, E. (1989). The chemical composition of rainfall in a city of Northern Spain. *Water, Air and Soil Pollution*. 43: 277-291.

2.9. Ciudad de Barcelona

Se ha recopilado información referente a la deposición total de Cl en la ciudad de Barcelona durante el periodo de marzo de 1973 a junio de 1974 (Custodio *et al.*, 1985). La estación de muestreo se localizó en la azotea del Laboratorio de Ingeniería Nuclear de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona (Campus Sud de Pedralbes), a 6 km de del mar y a una altitud de 110 m.s.n.m. Las direcciones predominantes del viento son las W (interior y S-SE (mar), pero son las del NE (semiinterior) las que están ligadas a las lluvias más intensas y persistentes. El método de muestreo consistió en la instalación de una batea de 1 m² de superficie

orientada al NW, permitiendo recoger la deposición húmeda y el polvo atmosférico que se produce en un mes. La batea era lavada con agua destilada cada vez que se recogía una muestra. Si no se producía muestra se acumulaba el polvo atmosférico para el siguiente mes. La lluvia colectada durante todo el periodo de estudio fue de 1249,4 mm y se obtuvo un aporte de Cl por deposición total anual de $12,8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ (Tabla I). Los valores medios y la desviación típica de concentraciones y precipitación mensuales son respectivamente de $26,2\pm 10,9 \text{ mg/L}$ y $44,6\pm 38,0 \text{ mm}$. La lluvia presenta un cierto dominio de los cationes de origen marino, aunque es muy notable la presencia de cationes provenientes de la polución atmosférica asociados a la deposición seca. El valor de $r\text{Na}/r\text{Cl} \text{ (meq/L)} = 0,35$ indica un exceso de Cl. Parte del Cl se atribuye a la polución atmosférica y concretamente a la quema de plásticos. El elevado contenido de SO_4 y de Ca indica una importante deposición seca en las muestras asociada a polvo atmosférico continental..

Referencias bibliográficas específicas:

Custodio, E., Peláez, M.D. y Balagué, S. (1985). Datos preliminares sobre la aportación mineral por la precipitación atmosférica. *Tecnología del Agua*. 18: 51-56.

2.10. Central Térmica de Andorra (Teruel)

Se ha recopilado información referente a la deposición total y deposición húmeda de Cl en diversas estaciones situadas en un radio inferior a 50 km de la Central Térmica de Andorra (Teruel), localizada en el margen SO de la Cuenca del Ebro y próxima a la Cordillera Ibérica. La información queda recogida en Alastuey *et al.* (1999) y en el Informe Final del Proyecto AMB95-1102 de la CICYT (1998) que realiza un estudio sobre la deposición de material particulado atmosférico, deposición total y deposición húmeda en las estaciones de Morella, Cerollada, Torre Miró y Carrascals durante los años 1996 y 1997 y situadas respectivamente a 46,6; 32; 47 y 56 km de la C. Térmica. La estación de Morella se ha estudiado únicamente desde noviembre de 1995 a octubre de 1996. El estudio de la deposición húmeda se ha realizado en la estación de Morella durante 1997 y en Alcañiz desde noviembre de 1995 a octubre de 1996. Estas estaciones están situadas respectivamente a 46,6 y 18,8 km de la C. Térmica.

El área de estudio tiene un clima semiárido, una altitud media de 600 m.s.n.m. y un substrato rocoso arcilloso y arenoso. Se encuentran bosques de pino de la Cordillera Ibérica, localizada al W, S y E de la C. Térmica, con una altitud media de entre 1000 y 1300 m.s.n.m. y un sustrato rocoso calizo. La dirección predominante del viento es NW (E305-330), constatándose intrusiones de masas de aire saharianas en verano y

primavera. En verano las precipitaciones son escasas, por lo que existe poco lavado de aerosoles atmosféricos (Alastuey *et al.*, 1999).

El método de muestreo de la deposición total se realizó en un colector que era lavado con agua destilada cada vez que se recogía una muestra de deposición seca. La deposición húmeda fue recogida con un equipo de muestreo secuencial automático de recogida de la precipitación mediante un sensor acoplado de lluvia. Los valores de precipitación, contenido de Cl y deposición total obtenida aparecen en la Tabla I. La deposición total obtenida en las estaciones de Morella, Cerollada, Torre Miró y Carrascals ha sido respectivamente de 0,8; 0,9 y 0,4 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ para dos años de estudio.

La deposición húmeda obtenida en las estaciones de Alcañiz y Morella han sido respectivamente de 0,4 y 0,6 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ para un año de estudio (Tabla II). En la estación de Morella se observa una diferencia de $\sim 30\%$ entre el valor de deposición total y el valor de deposición húmeda obtenidos. Este dato es coherente con el valor de $\sim 25\%$ obtenido en la Estación Biológica Experimental de l'Avic en Tarragona, próxima a este lugar.

La deposición de Cl está asociada al aerosol marino y principalmente tiene lugar durante eventos de deposición húmeda (60-82% del contenido de Cl). También se han detectado cantidades menores de Cl asociadas a deposición seca proveniente del Mediterráneo. Los contenidos SO_4 y de Ca en la deposición seca son atribuidos a la presencia de importantes afloramientos calizos y evaporíticos en la depresión del Ebro y Cordillera Ibérica respectivamente.

Referencias bibliográficas específicas:

- Alastuey, A., Querol, X., Chaves, A., Ruiz, C., Carratalà, A. y López-Soler, A. (1999). Bulk deposition in a rural area located around a large coal-fired power station in NE Spain. *Environmental Pollution*. 106: 359-367.
- AMB95-1102 (1998). Estudio integral de material particulado atmosférico y compuestos sulfatados procedentes de la combustión del carbón en una gran central termoeléctrica. *Programa Nacional de I+D en Medio Ambiente*. Ministerio de Ciencia y Tecnología (CICYT). Inv. Principal: Xavier Querol. 161 pp.

2.11. Zona costera al Sur de Tarragona (Serra de Vandellós)

Se ha recopilado información referente a la deposición total de Cl en varias estaciones de muestreo en el litoral de la provincia de Tarragona durante 1975 para un periodo de 2 meses (Custodio y Martín-Arnaiz, 1976).

Se tomaron muestras en zonas elevadas y zonas bajas como metodología clásica de estimación de la recarga a acuíferos mediante balance de Cl. El método de muestreo consistió en el uso de colectores convencionales que permiten el muestreo conjunto de deposición seca y húmeda de Cl.

Las estaciones estudiadas fueron Coll de Balaguer, Lleria, Hospitalet de l'Infant, Coll de Balaguer (todos ellos en la costa de Vandellós) y Miami (Montroig). Las características geográficas, de muestreo, precipitación y contenido de Cl en las muestras aparecen en la Tabla I. La deposición total supuesta (en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$) ha sido respectivamente de $15,2\pm 13,1$; $9,8\pm 8,6$; $9,8\pm 8,6$; $7,7\pm 6,0$ y $13,0\pm 9,9$ (mapa I). Para ello se ha extrapolado linealmente el valor de deposición obtenido en dos meses respecto al supuesto para un año. Debido al escaso periodo de muestreo realizado, los valores presentan una alta incertidumbre. El valor de deposición total promedio de Cl propuesto para la zona sería de $8,7\pm 6,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$.

La deposición de Cl está ligada al aerosol marino y principalmente se asocia a la deposición húmeda, aunque en las zonas bajas existe un importante aporte de polvo atmosférico de origen continental.

Referencias bibliográficas específicas:

Custodio, E. y Martín-Arnáiz, M. (1976). Métodos de balance de agua subterránea aplicados en el área de Vandellós. En: *I Simposio Nacional de Hidrogeología*. Valencia. 1262-1290.

2.12. Parque Nacional de Doñana y ciudad de Huelva

2.12.1. Parque Nacional de Doñana

Se ha recopilado información de la deposición total de Cl en varias estaciones de muestreo en área de El Abalario (Doñana, Huelva). Los datos disponibles pertenecen a tres series temporales de muestreo de lluvia realizadas para evaluar la recarga al acuífero de Doñana (Iglesias *et al.*, 1996; Iglesias, 1999).

La serie 1 incluye el muestreo realizado en 1989 (28-2-89 a 31-1-90) por el ITGE (actual IGME), asociado al final de un periodo seco y comienzo de un periodo húmedo, e incluye datos de un año de estudio para estaciones instaladas en Almonte, Zona litoral costera de Doñana, El Rocío, Los Cabezuelos y Sevilla (Tabla I y mapa I).

La serie 2 corresponde a un muestreo realizado desde febrero de 1900 a abril de 1991 en El Acebuche (ICONA). Se tomaron 12 muestras pertenecientes a 445 mm de precipitación respecto de los 584 mm recogidos en la estación.

La serie 3 corresponde a un muestreo realizado entre diciembre de 1992 a enero de 1996 en El Acebuche (ICONA). Se tomaron 22 muestras equivalentes a 322 mm de precipitación de los 1411 mm recogidos durante ese periodo.

El valor de deposición de Cl obtenido para la estación del Acebuche es de $3,3 \pm 2,0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ (Tabla I). Partiendo de extrapolaciones, se aceptan como valores tentativos para las demás estaciones los siguientes valores, en $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$: Acebuche = 3,5; La Mediana = 3,5; Costa = 9,0; Lagunas de Moguer = 7,0; La Rocina = 4,0; El Rocío = 5,0 y Ecotono Norte = 4,0 (Iglesias *et al.*, 1996).

La importante variación estacional y espacial de la deposición en las estaciones de Doñana es debida a las variaciones en el volumen de precipitación de una estación a otra, distancia a la costa y exposición a diferentes vientos y polvo atmosférico asociado. El aporte de Cl sigue una distribución que responde principalmente a la distancia respecto del mar. El viento proveniente del SW aporta Cl dominando principalmente por el aerosol marino, mientras que la dirección NW incluye calcio, sulfatos y bicarbonatos de origen continental. Se ha detectado la influencia del polo químico de Huelva en la deposición, principalmente en la deposición seca.

El muestreo realizado durante 1989 (28-2-89 a 31-1-90) por el ITGE, también incluía valores de deposición total de Cl en Sevilla, que es del orden de $9,3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ (Tabla I). En esta zona se constata afección por contaminación atmosférica urbana.

2.12.2. Ciudad de Huelva

Se ha extraído información sobre deposición seca de Cl en el entorno del polígono industrial de Huelva, próximo a la costa atlántica. Querol *et al.* (2002) instalaron varios filtros para la captación de material particulado atmosférico superior a 10 micras (PM10) en las proximidades de las instalaciones de Huelva metalurgia, Huelva petroquímica y Huelva fosfatos (todas en el polígono industrial de Huelva); y material particulado procedente del aerosol marino en un emplazamiento cercano a la costa. Los valores de deposición seca atmosférica anual de Cl han sido de 1,1; 0,7; 1,7 y $2,2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ (Tabla III). El emplazamiento de los filtros varía desde una posición próxima a la línea de costa (0,2 km) hasta zonas del polígono industrial de Huelva más interiores (Tabla III). No existen variaciones significativas de altitud entre los diferentes filtros (Querol *et al.*, 2002). El origen mayoritario del Cl se asocia al aerosol marino, aunque se detecta la influencia de las emisiones industriales.

En la costa de Doñana se produce una deposición total atmosférica de Cl entre $8,5$ y $11,0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$, admitiendo un valor medio de $\sim 10,0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$. Comparando estos valores con los obtenidos en el polo industrial de Huelva (Tabla III, mapa 1), se puede admitir que la deposición seca de Cl constituye entre un 7 y un 20 % de la deposición total de Cl en zonas próximas a la costa en la provincia de Huelva.

Referencias bibliográficas específicas:

- Iglesias, M., Custodio, E., Giráldez, J.V., Manzano, M y Ordóñez, R. (1996). Caracterización química de la lluvia y estimación de la recarga en el área de El Abalario, Doñana, Huelva. *IV SIAGA*. Vol.: II. 99-121. Almería.
- Iglesias, M. (1999). Caracterización hidroquímica del flujo del agua subterránea en El Abalario, Doñana, Huelva. *Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Cataluña*. 207 pp + anexos.
- Querol, X., Alastuey, A., De la Rosa, J., Plana, F. y Ruiz, C.R. (2002). Source apportionment analysis of atmospheric particulates in an industrialised urban site (Huelva City) in South-western Spain. *Atmospheric Environment*, 36(19), 3113-3125.

2.13. Comarca del Anoia (Barcelona)

Se ha recopilado información referente al estudio de deposición total de Cl en cinco estaciones de muestreo en la comarca del Anoia, Barcelona (Lambán, 1998). Las estaciones son: Cal Tort, Les Comes, la Pobla de Claramunt, Font de Sant Pere y Santa María de Miralles. Se ha realizado el muestreo acumulado de la deposición total anual, para periodos temporales de un mes. Aquí se indican los valores estimados de deposición total de Cl por Lambán (1998) para cada estación, que son respectivamente de $2,8 \pm 1,8$; $4,0 \pm 5,1$; $5,0 \pm 6,9$; $4,4 \pm 6,3$ y $6,8 \pm 9,3$ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$. El periodo de muestreo ha sido durante 1 año (1995-1996) para todas las estaciones, excepto para la estación Cal Tort que ha sido de 4 años (1983-1987). Se observa el alto grado de incertidumbre asociado ya que se considerado tan sólo 1 año.

La deposición total de Cl parece estar condicionada por el efecto de mayor precipitación a mayor altitud, aunque los datos de partida son escasos para asegurarlo. La concentración de Cl del agua de lluvia es similar, salvo en Cal Tort, donde la concentración media algo superior a 6 mg/L está algo contaminada por emisiones locales industriales y el efecto geológico de aporte de polvo atmosférico (Lambán, 1998; Lambán y Custodio, 1998). Los resultados detallados, valores de precipitación y concentración de Cl durante cada intervalo de muestreo, tomados de Lambán (1998), se pueden observar la Tabla I y están representados en el mapa I.

Referencias bibliográficas específicas:

- Lambán, L.J. y Custodio, E. (1999). Caracterización de la recarga en la Unidad de Anoia: aplicación de un modelo de balance de de agua en el suelo y realización de un balance de cloruros. In: *Tineo, A. Hidrología Subterránea. Serie de Correlación geológica*, 13: 71-78.

Lambán, L.J. (1998). *Estudio de la recarga y del funcionamiento hidrogeológico de la Unidad de Anoia (Cordillera Prelitoral Catalana)*. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Cataluña. 207 pp + anexos.

2.14. Serra de Tramuntana (Isla de Mallorca)

Se ha recopilado información referente al estudio de deposición total de Cl en cuatro estaciones de muestreo en área de la Serra de Tramuntana (Mallorca): S'Albufera, L'Assarell, Miner Gran y Alfabia, de trabajos realizados por Cardoso (1997). El valor aquí indicado hace referencia al valor anual acumulado de cada estación. Los valores estimados de deposición total de Cl para cada estación son respectivamente: 12,8; 12,7; 20,2 y 13,4 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$. El periodo de muestreo ha sido durante 1 año (1995-1996) para todas las estaciones. Los valores de deposición total de Cl al terreno oscilan poco entre estaciones. El valor medio local de deposición obtenido para la Serra de Tramuntana, en el año considerado, es de 14,8 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$. Se observa el alto grado de incertidumbre. El Cl proviene principalmente del aerosol marino (Cardoso, 1997). Los valores de precipitación y concentración de Cl durante cada intervalo de muestreo, tomados de Cardoso (1997), se resumen en la Tabla I y están representados en el mapa I.

Referencias bibliográficas específicas:

Cardoso, G. (1997). *Comportamiento de los manantiales del karst nororiental de la Serra de Tramuntana, Mallorca*. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Cataluña. 361 pp + anexos.

2.15. Provincia de Málaga

Se ha recopilado información de la deposición total de Cl registrada en diversos lugares de la provincia de Málaga, para diferentes fechas.

2.15.1. Sierras Blanca y Mijas

Se ha realizado el muestreo del agua de lluvia en diversos lugares de las Sierras Blanca y Mijas, entre octubre de 1990 y marzo de 1998, obteniendo un total de 133 muestras de diversos eventos lluviosos individuales o periodos de varios días, de los que se ha analizado Cl en 128 muestras. Sólo los pluviómetros de la localidad de Ojén en Sierra Blanca y de Torremolinos en Sierra de Mijas han dado buenos resultados. El origen del muestreo ha sido determinar el aporte de solutos atmosféricos encaminado al cálculo de la recarga (Andreo, 1996).

Durante el muestreo de los episodios de lluvia no se midió la pluviometría registrada en los mismos pluviómetros donde se captaba la muestra para su análisis químico, habiendo aplicado el valor de precipitación de estaciones pluviométricas lo más cercanas posibles durante el periodo de estudio para el cálculo de la deposición total de Cl.

El contenido medio ponderado de Cl para el agua de lluvia de la zona es de 7 mg/L, habiendo realizado el muestreo desde una cota de 200 m a casi 2000 m. Se ha descrito un gradiente altitudinal de la concentración de cloruro de -0,9 mg/L/100 m de altitud y una relación lineal positiva entre la cantidad de precipitación y la altitud (Andreo *et al.*, 1996).

La estación de Ojén (Sierra Blanca) se sitúa a 6,2 km del mar y a 335 m.s.n.m. La pluviometría media anual para el periodo estudiado es de 750 mm y la concentración media ponderada de cloruro de 9,5 mg/L. La deposición anual de Cl se ha estimado en $7,1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$.

La estación de Torremolinos (Sierra de Mijas) se sitúa a 1,7 km del mar y a 80 m.s.n.m. La pluviometría media anual para el periodo estudiado es de 610 mm y la concentración media ponderada de Cl de 11,2 mg/L. La deposición anual de cloruro se ha estimado en $6,8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ (Tabla I y mapa I).

Los estudios isotópicos realizados por Andreo (1996) y Andreo *et al.* (1996) indican que las lluvias registradas a cota elevada tienen un claro origen atlántico, que disminuye al disminuir la altitud, mientras que aumenta la componente mediterránea oriental a cotas más bajas y principalmente en verano.

2.15.2. Unidad Hidrogeológica Yunquera-Sierra de las Nieves

Se ha realizado el muestreo del agua de lluvia en la zona de Llanos de la Nava (Sierra de las Nieves) entre marzo de 1996 y febrero de 1997, obteniendo un total de 15 muestras de diversos eventos lluviosos individuales o de varios días, de los que se ha analizado de Cl en 11 muestras (Liñán *et al.*, 1999a, 1999b). La lluvia se ha tomado en un colector básico que permite obtener la deposición total de Cl, instalado a 1060 m.s.n.m. y a ~ 50 km de la costa.

La pluviometría obtenida durante el estudio ha sido de 367 mm, asociada a un año seco. Lo habitual para esta zona son valores anuales de ~ 700 mm.

El contenido medio ponderado de Cl para el agua de lluvia es de 7,36 mg/L, con un máximo de 39,76 mg/L y un mínimo de 2,13 mg/L (Liñán *et al.*, 1999a). Para este periodo seco estudiado, la deposición anual de Cl se ha estimado en $2,7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ (Tabla I y mapa I).

Según los estudios isotópicos de Liñán *et al.* (1999b) las lluvias presentan un origen principalmente atlántico, asociado principalmente al periodo invernal y a cotas

elevadas, mientras que existe una componente mediterránea oriental de menos importancia, principalmente durante el verano y a cotas más bajas.

2.15.3. Cueva de Nerja

Se ha estudiado la deposición total de Cl durante el periodo de marzo de 1991 a diciembre de 1998 (Liñán *et al.*, 1999c). Para ello se recogió lluvia para su posterior análisis químico en un pluviómetro abierto convencional instalado en la estación meteorológica que posee la Cueva de Nerja (Málaga). La pluviometría media obtenida durante el estudio ha sido de 490 mm/año. El contenido medio ponderado de Cl ha sido de 8 mg/L, con valores máximos de 61,1 mg/L y mínimos de 1,6 mg/L para un total de 147 muestras pertenecientes a diversos eventos lluviosos. El pluviómetro se localiza a ~ 100 m.s.n.m. y a ~ 2 km del mar. El valor de deposición anual de Cl se ha estimado en $3,9 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ (Tabla I y mapa I).

Los estudios isotópicos realizados por Liñán *et al.* (2002) indican que se trata de lluvias preferentemente de origen atlántico, aunque se detectan episodios de lluvia claramente asociados a una procedencia mediterránea oriental (contenido isotópico más pesado).

Referencias bibliográficas específicas:

- Andreo, B. (1996). Hidrogeología de acuíferos carbonatados en las Sierras Blanca y Mijas (Cordillera Bética, Sur de España). SPUMA-CHS, Málaga, 489 pp.
- Andreo, B., Carrasco, F. y Sanz de Galdeano, C. (1996). Types of carbonate aquifers according to the fracturation and karstification in a southern spanish area. *Environ. Geol.*, 28(1): 1-11.
- Liñán, C., Andreo, B. y Carrasco, F. (1999a). Hydrogeological research on carbonate aquifers of a Unesco Biosfere Reserve (Sierra de las Nieves, Málaga, S Spain). *XXIX Congress of IAH. Hydrogeology and Land Use Management*. Bratislava. 203-208.
- Liñán, C., Jiménez de Cisneros, C., Caballero, E., Carrasco, F. y Andreo, B. (1999b). Composición isotópica de las aguas de la Unidad Hidrogeológica Yunquera-Nieves (Provincia de Málaga). *Geogaceta*. 25: 127-130.
- Liñán, C., Andreo, B., Carrasco, F. y Vadillo, I. (1999c). Hidrodinámica e hidroquímica de las aguas de goteo de la Cueva de Nerja. *Contribución al Estudio Científico de las Cavidades Kársticas al Conocimiento Geológico*. (Andreo, B., Carrasco, F. y Durán, J.J., Eds.). Patronato de la Cueva de Nerja, Nerja (Málaga). 393-402.
- Liñán, C., Carrasco, F., Andreo, B., Jiménez de Cisneros, C. y Caballero, F. (2002). Caracterización isotópica de las aguas de goteo de la Cueva de Nerja (Málaga, S

de España). *Karst and Environment*. (Carrasco, F., Durán, J.J. y Andreo, B., Eds.). 243-249.

2.16. Provincia de Granada

Se ha recopilado información referente a la deposición total de Cl producida en diversos lugares de la zona montañosa costera de la provincia de Granada (Motril, Vélez de Benaudalla, Albuñol, Órgiva, Cádiar y Los Pelaos).

El muestreo del agua de lluvia se realizó con pluviómetros convencionales desde febrero de 1990 a marzo de 1991. Se recogieron un total de 33 muestras correspondientes a lluvias integradas de varios días de precipitación y a eventos aislados de precipitación (Cardenal *et al.*, 1994). A partir del análisis de estas lluvias se ha calculado el valor medio ponderado de Cl en mg/L para todas las estaciones, excepto para Albuñol que no ha podido ser determinado.

Los detalles sobre altitud de muestreo, distancia al mar, contenido medio ponderado de Cl y precipitaciones, extraídos de Cardenal *et al.* (1994), se recogen en la Tabla I y se muestran en el mapa I.

Para obtener el valor aproximado de deposición total de Cl se ha optado por incluir datos pluviométricos de series históricas superiores a 10 años en las estaciones de Motril, Albuñol y Órgiva; e inferior a 10 años en Cádiar. Las estaciones de Vélez de Benaudalla y Los Pelaos incluyen los valores de precipitación tomados de los pluviómetros instalados para el muestreo de lluvia durante el estudio realizado por Cardenal *et al.* (1994).

El contenido en Cl aumenta de forma gradual desde la costa hacia el interior, con escasa relación respecto al aumento de cota topográfica. La cantidad de precipitación aumenta con la altitud. Los valores de deposición total obtenidos a cotas elevadas, superiores a 1500 m.s.n.m., están entre 3 y 3,5 g·m⁻²·año⁻¹. En el interior, a cotas entre 500 y 1000 m.s.n.m., es en torno a 2 g·m⁻²·año⁻¹, y en la costa a cotas inferiores a 50 m.s.n.m. es en torno a 7 g·m⁻²·año⁻¹ (Tabla I y mapa I)

Los estudios isotópicos del agua de lluvia indican un origen preferente atlántico a cota elevada, generalmente asociado a lluvias de invierno, con clara influencia mediterránea a cotas inferiores y durante lluvias de verano (Benavente *et al.*, 1990).

Referencias bibliográficas específicas:

Benavente, J., Cardenal, J. Cruz-Sanjulián, J.J., García-López, S., Araguás, L. y López-Vera, F. (1990). Content analysis of stable isotopes in aquifers from the coastal mountainous chain of Gádor-Lújar (Southeast Andalusia, Spain). *In: XXII Congress of IAH: Water Resources in Mountainous Regions*. (A. Parriaux, eds.). Lausanne. 415-424.

Cardenal, J., Benavente, J. y Cruz-Sanjulián, J.J. (1990). Contenido en cloruros de las precipitaciones al sur de Sierra Nevada (Granada). Aplicación a la evaluación de recursos hídricos. *Geogaceta*. 16(2): 3-6.

2.17. Sierra de los Filabres (Almería)

Se han obtenido datos de deposición total de Cl durante el periodo de 1 de septiembre de 1988 a 31 de agosto de 1989 en el paraje de Nacimiento en la Sierra de los Filabres (Almería), extraídos de Domingo *et al.* (1994). Durante este periodo se ha analizado el contenido de Cl de todos los eventos lluviosos, obteniendo un contenido medio ponderado de Cl de 0,96 mg/L. Para el periodo de estudio se han recogido un total de 651 mm, aunque la pluviometría media del lugar suele ser de unos 400 mm/año, con una alta estacionalidad. La lluvia se ha recogido en un pluviómetro convencional de polietileno de 25 cm de diámetro en lugar despejado y a 1,5 m sobre el terreno. Durante los meses de verano no se produjo precipitación. El valor de deposición total obtenido es de $0,6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ (Tabla I y mapa I).

En Domingo *et al.* (1994) también se incluyen datos de la deposición seca de Cl que se produce sobre la vegetación en la Sierra de Filabres y que es lavada e incorporada al suelo durante los periodos de lluvia. Estos autores obtienen una tasa de deposición seca media ponderada de Cl de $0,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ (Tabla III), principalmente en los meses de verano. La deposición seca representa algo más del 50 % del total de la deposición de Cl. Se ha comprobado que la tasa de deposición húmeda de la zona es de tan sólo $0,2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ y se asocia principalmente a lluvias de escaso contenido salino que representan 501 mm de los 651 mm recogidos. La fracción de polvo atmosférico es importante y de origen continental de áreas cercanas, aunque existe una fracción importante de origen externo, principalmente africano (Queralt *et al.*, 1993). Este estudio muestra que en zonas semiáridas el aporte salino por deposición seca constituye el principal agente de aporte salino al terreno (Queralt-Mitjans *et al.*, 1993).

Referencias bibliográficas específicas:

Domingo, F., Puigdefábregas, J., Moro, M.J. y Bellot, J. (1994). Role of vegetation cover in the biogeochemical balances of a small afforested catchment in southeastern Spain. *Journal of Hydrology*. 159: 275-289.

Queralt-Mitjans, I., Domingo, F. y Solé-Benet, A. (1993). Influence of local and distant sources in the mineral content of global deposition in an altitudinal séquence in the Filabres range (SE Spain). *Journal Geophysical Research*. 98(D9): 16761-16768.

2.18. Isla de Gran Canaria

Se ha recopilado información referente a la deposición total de Cl en la Isla de Gran Canaria (Gasparini, 1989), exceptuando otros trabajos realizados en La Aldea que se resumen en otro trabajo INM (informe nº 4 del proyecto CICYT, HID 1999-0205).

El clima de Gran Canaria está ligado a varios tipos de corrientes aéreas y marinas, cálidas y frías, húmedas y secas de tipo permanente y esporádico, con efectos notables en función de la altitud, relieve y distancia al mar. El relieve central de la isla constituye una importante barrera frente a las precipitaciones, con valores de ~ 1000 mm/año en las laderas norte a cota elevada. Los valores más bajos aparecen en las zonas costeras bajas (100-150 mm/año), condicionando una distribución radial de las isoyetas (Gasparini, 1989). La existencia de masas de aire frías, principalmente de dirección NE-SO, con masas cálidas de dirección principal NO-SE, condiciona la aparición de grandes masas de nubes que son atrapadas por los relieves orográficos a cotas en torno a los 600 m.

Los episodios climáticos menores están constituidos por masas de aire polar húmedo y frío que dan precipitaciones en forma de nieve a cotas superiores a 1500 m, vientos saharianos cálidos, secos y con gran aporte de polvo atmosférico, y vientos del sur húmedos y cálidos que provocan precipitaciones en la zona sur de la isla.

El tipo de masa de aire y el relieve condicionan diferente exposición (sur o norte) frente a las precipitaciones. Los gradientes altitudinales de precipitación son de 50 mm/100 m en la vertiente norte y de 35 mm/100 m en la vertiente sur (SPA-15, 1975; Gasparini, 1989). Existe también una distribución geográfica del contenido medio en Cl de la precipitación. En la zona costera norte es de ~ 15 mg/L, en la zona alta de centro de ~ 9 mg/L y en la zona costera sur de ~ 24 mg/L (Gasparini, 1989).

Se han seleccionado las estaciones Moya, Firgas, Lanzarote, Cruz de Tejeda y Las Mesas en la vertiente Norte y las estaciones Agua Latente, San Bartolomé de Tirajana, La Barrera, Arteara, La Gloria Alta y Maspalomas en la vertiente Sur; a lo largo del eje N-S de la isla (Tabla I y mapa I). En ellas se han tomado diferentes muestras de precipitación y deposición de polvo atmosférico en pluviómetros convencionales durante periodos de un mes, durante varios meses (generalmente entre 5 y 22 de acuerdo con la variable precipitación). La mayoría de estas muestras han sido analizadas. Posteriormente se ha comparado la deposición total de los eventos mensuales analizados con el total de la precipitación registrada durante todos los eventos muestreados, aproximando el valor anual de deposición total en cada emplazamiento. Los resultados obtenidos (Tabla I y mapa I) presentan una alta incertidumbre, producto del escaso tiempo de muestreo y la variabilidad climática y geográfica propia de la isla.

El origen del Cl es mayoritariamente atlántico, aunque existen aportes excepcionales de polvo atmosférico de origen africano y alguna influencia industrial, principalmente entre la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria y el aeropuerto.

Referencias bibliográficas específicas:

- Gasparini, A. (1989). *Hydrochimie et géochimie isotopique de circulations souterraines en milieu volcanique sous climat semi-aride (Grande Canarie, Iles Canaries)*. Tesis Doctoral. Univ. de Paris XI, 261 pp.
- SPA-15 (1975). Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias (SPA/69/515). Minist. Obras Públ., Dir. Gral. Obr. Hidr. UNESCO. Las Palmas de Gran Canaria, Madrid. 3 Vol. + Mapas.

2.19. Isla de Fuerteventura

Se ha recopilado información referente a la deposición total y húmeda de Cl en la Isla de Fuerteventura (Herrera, 2001). En total se obtuvieron 31 muestras que corresponden a siete eventos de lluvia producidos en los años 1998 y 1999. El clima árido de la isla de Fuerteventura hace que el número de muestras sea reducido.

Las muestras de precipitación se obtuvieron en vasos debidamente preparados para impedir la entrada de elementos ajenos a la lluvia. En el fondo de estos recipientes se colocó una lámina de vaselina líquida para reducir los efectos de evaporación en las muestras. Aunque inicialmente se realizó muestreo de la lluvia en 7 estaciones, posteriormente la red de muestreo definitiva quedó constituida por las estaciones de Pozo Negro, Pájara, Tuineje y Morro de Velosa, donde se muestreó la deposición total de Cl. Las características geográficas aparecen en la Tabla I. Los valores de deposición total de Cl obtenidos (en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$) han sido respectivamente de $3,7\pm 1,0$; $10,5\pm 2,2$; $7,3\pm 2,1$ y $17,4\pm 7,1$. Los valores medios anuales de precipitación se han obtenido a partir de la serie pluviométrica de cada emplazamiento desde 1970 a 1986 (Tabla I). La gran variabilidad en la concentración de cloruro de las precipitaciones de cada estación de muestreo ha incidido en una desviación típica importante de estos valores y por consiguiente en el valor estimado de la deposición total de Cl.

La aportación mineral de la deposición total de Cl es mayoritariamente de origen marino. La fracción de polvo atmosférico incluida en la deposición total es considerable y está asociado mayoritariamente a la deposición de polvo atmosférico aportada por el aerosol marino. El estudio de la deposición húmeda realizado por Herrera (2001) para estas mismas estaciones muestra valores (en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$) de 1,4; 5,2; 1,8 y 5,8. En la Estación de Puerto del Rosario, donde sólo se muestreó deposición húmeda (recogiendo la lluvia durante el evento), fue de $3,6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$. Considerando estos valores únicamente a modo de orientación, se indica que el aporte de Cl asociado a la deposición húmeda constituye entre un 25 y un 50 % de la deposición total de Cl. La deposición húmeda es mayor a cota elevada y en zonas próximas a la costa, y menor en

zonas situadas más al interior. El aporte continental se constata en zonas de actividad agraria (Herrera, 2001).

Referencias bibliográficas específicas:

Herrera, C. (2001). *Caracterización hidrogeoquímica del Macizo de Betancuria, Fuerteventura, Archipiélago de Canarias*. Tesis Doctoral. Dpto. de Ing. del Terreno y Cartográfica. Univ. Pol. Cataluña (Barcelona).

2.20. Norte de Navarra

Se ha obtenido información referente a la deposición total de Cl en dos parajes forestales de la Comunidad de Navarra. Los datos han sido facilitados por miembros del Departamento de Química y Edafología de la Universidad de Navarra a partir de los resultados obtenidos en una Tesis Doctoral, aun en preparación (Elustondo, 2003).

El muestreo se ha realizado en dos colectores abiertos instalados en las localidades de Eugui y Burguete. Los periodos de muestreo se realizaron respectivamente entre los años 1998 y 2001 y los años 1998 y 1999. Los valores de deposición total de Cl son respectivamente de 2,8 y 3,4 g·m⁻²·año⁻¹ y corresponden al valor medio anual (Tabla I y mapa I).

Referencias bibliográficas específicas:

Elustondo, D. (2003). Tesis Doctoral. Univ. de Navarra (en preparación).

3. DISCUSIÓN PRELIMINAR

Los valores bibliográficos obtenidos de deposición total, húmeda y seca de Cl presentan una notable incertidumbre, asociada a cortos periodos temporales de estudio. No obstante proporcionan un orden de magnitud de la deposición de Cl en cada zona, válida para poder realizar comparaciones territoriales y establecer el origen del aporte y los gradientes espaciales y de altitud de la deposición de Cl. La incertidumbre asociada puede evaluarse comparando los datos aquí recopilados de deposición total de Cl con los calculados de deposición húmeda de Cl en 7 estaciones de la Red de vigilancia ambiental del INM, que presentan amplios registros temporales de precipitación y análisis químicos de la mayoría de las lluvias diarias, y por tanto capaces de proporcionar una menor incertidumbre en su evaluación, tras un tratamiento estadístico adecuado. Este estudio se encuentra actualmente en elaboración final INM (informe nº 7 del proyecto CICYT, HID 1999-0205).

Los datos de deposición húmeda de Cl recopilados e incluidos en este informe son especialmente útiles en zonas donde no existen datos de deposición total de Cl, aunque se conoce que ésta corresponde en su mayoría a la deposición húmeda, como en el caso de la costa norte peninsular, con valores de ambas entre $10-15 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ y diferencias entre ellas inferiores al 5%. Este hecho se ha constatado en las estaciones costeras estudiadas del NW de Portugal, similares desde el punto de vista climático a las de la costa N y NW de España. A rasgos generales, en estas zonas no se ha constatado un aporte importante de polvo atmosférico, bien por recirculación in situ de componentes salinos como por aporte de polvo de otras zonas, lo que hace posible una correlación entre la deposición total y húmeda de Cl.

En el centro de la península los valores de deposición total de Cl son del orden de $0,2-0,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$, existiendo escasa diferencia entre los valores de deposición total y húmeda, estimados entre un 10 y un 20 %, como consecuencia de cierta recirculación de polvo atmosférico (deposición seca) principalmente en verano. No obstante, la zona central peninsular presenta escasos datos, aunque los existentes son razonablemente homogéneos. En esta zona central se puede observar como a cota elevada y principalmente en zonas elevadas de orientación E-W o NE-SW los valores de deposición total pueden ser del orden de $0,7$ a $1,0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$.

En la zona costera atlántica y mediterránea los valores de deposición total de Cl son claramente superiores a los obtenidos en la zona central, oscilando entre $2,5$ y $30 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$. En la zona NE mediterránea se han obtenido valores de deposición seca equivalentes a un 20-30 % de la deposición total (zonas próximas a la costa de Tarragona y Castellón respectivamente).

En la zona costera SW peninsular se han obtenido valores de deposición total de Cl entre 5 y $10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$, de los que entre un 10-20 % corresponden a aporte de Cl derivado de la aportación de polvo atmosférico.

En la zona SE del territorio peninsular el valor de deposición seca incluida dentro de la deposición total de Cl puede llegar a ser de hasta un 50%, como se ha observado en la Sierra de los Filabres (Almería), lugar a cota superior a 1500 m.s.n.m. y a más de 20 km de la costa., con valores de deposición total entre $0,5$ y $1,0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ en zonas elevadas y algo interiores. En la zona más próxima a la costa la deposición total de Cl está comprendida entre 3 y $6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$, pudiendo ser el aporte derivado de polvo atmosférico superior al 50 %.

En todas las zonas costeras peninsulares existe un fuerte gradiente de concentración de Cl en el agua de lluvia desde la línea costera hacia las áreas más interiores, produciéndose además un aporte superior de Cl derivado de la deposición seca asociado a la precipitación de halita procedente del aerosol marino. Se observan diferencias importantes entre los valores de deposición total de Cl, con alto aporte de deposición seca (zona SE peninsular), de los que prácticamente están constituidos por deposición húmeda (zona N y NW peninsular).

En zonas de la costa mediterránea se observa una clara disminución del contenido en Cl del agua de lluvia desde la línea de costa hacia zonas algo más interiores, condicionando un importante gradiente de disminución del valor de deposición total de Cl en este sentido. Se ha aproximado de forma tentativa, con los valores disponibles, un gradiente en torno a $0,2$ - $0,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ de avance desde la costa hacia zonas algo más interiores en la zona de influencia costera del S y SE peninsular. En la zona de influencia costera del NW y N peninsular (desde Galicia al País Vasco) estos gradientes, obtenidos de forma tentativa, son más acusados y están entre $0,5$ y $1,0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$. También se constata un gradiente altitudinal de la precipitación en estas mismas zonas. La disminución del contenido en Cl de la precipitación respecto al aumento de altura, para similares distancias al mar, es un aspecto que se ha observado en la costa andaluza, valenciana y catalana, aunque es más acusado en la zona SE peninsular.

Todos estos aspectos se reproducen en las zonas insulares, donde también se ha observado una distribución radial de los valores de deposición total de Cl; altos en la costa (superiores a $20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$) y bajos en el interior (entre $1,0$ y $2,0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$), dependiendo de la altura topográfica. Los gradientes tentativos obtenidos son, en cambio, más acusados, pudiendo ser superiores a $1,0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$. En la Isla de Gran Canaria, la deposición seca asociada a la circulación de polvo atmosférico de origen africano y la aportación de microcristales de halita de origen marino en la zona costera puede constituir una aportación de Cl de ~ 50 % de todo el aporte de Cl de la deposición total de Cl registrada en zonas de costera a cota baja. En la isla de Mallorca el aporte de Cl de origen marino en la zona costera es también considerable.

Algunos datos bibliográficos disponibles indican una tasa muy alta de deposición total de Cl en varias ciudades (Santander: Díaz-Caneja *et al.*, 1989; Bilbao: Aranguiz *et al.*, 2002; Campo de Gibraltar, Sevilla y Cartagena: Usero y Gracia, 1986; Barcelona: Custodio *et al.*, 1985). El origen de los mismos está ligado al aporte derivado del aerosol marino (tanto la deposición húmeda como la seca) y la importante contribución de Cl, cifrada entre un 20 y un 30 % de la total, derivada de emisiones urbanas e industriales, tales como quema de plásticos, combustibles fósiles, polución de origen industrial, etc.

4. CONCLUSIONES

Se han recopilado datos bibliográficos de deposición total atmosférica de Cl para utilizarlos en la evaluación de la recarga a diversos acuíferos españoles mediante métodos de balance salino. En el centro peninsular, los escasos valores de deposición total de Cl obtenidos, del orden de $0,2-0,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$, presentan gradientes de variación muy bajos. En la zona costera atlántica y mediterránea son claramente superiores y del orden de $10-30 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ y $5-10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$, respectivamente. En ambos casos existe un fuerte gradiente de concentración desde la línea costera hacia las áreas más interiores, estimado, aunque no cuantificado, en unos $0,5$ a $1,0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ y en $0,2$ a $0,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ respectivamente. Similar circunstancia se observa en las zonas insulares, aunque en estas zonas el gradiente supera el $1,0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$. En la zona húmeda costera del norte peninsular la deposición húmeda y total son del mismo orden (diferencias de entre 5-10 %) y están cifradas entre 10 y $15 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$, mientras que en zonas áridas del SE peninsular la contribución de polvo atmosférico a la deposición total es próxima al 50 %. En la zona costera del NE y SW peninsular estos porcentajes son de ~ 20 % y entre 10-20 % respectivamente. En las zonas urbanas la deposición total de Cl es elevada y variable según la localización geográfica y ambiente de muestreo, pero se constata un porcentaje de $\sim 20-30$ % de aporte de Cl derivado de la polución atmosférica.

5. REFERENCIAS GENERALES

- Custodio, E., Peláez, M.D. y Balagué, S. (1985). Datos preliminares sobre la aportación mineral por la precipitación atmosférica. *Tecnología del Agua*. Vol. 18: 51-56.
- Custodio, E. (1997). Evaluación de la recarga por la lluvia mediante métodos ambientales químicos, isotópicos y térmicos. En: *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica*. (Eds.: Custodio, E., Llamas, M. R. y Samper, J.). IGME y AIH. Las Palmas. 83-110.
- Custodio E. y Llamas, M.R. (1983). *Hidrología Subterránea*. Editorial Omega. Barcelona (2 Vols): 1-2350.
- Iglesias, M., Custodio, E., Giráldez, J.V., Manzano, M. y Ordóñez, R. (1996). Caracterización química de la lluvia y estimación de la recarga en el área del Abalario, Doñana, Huelva. *IV SIAGA*, Ed.: IGME (Madrid). Vol. II: 99-121.
- Murphy, E.M., Ginn, T.R., Phillips, J.L. (1996). Geochemical estimates of paleorecharge in the Pasco Basin: evaluation of the chloride mass balance technique. *Water Res. Research*. Vol. 32(9): 2853-2868.
- Pueblos de España (2000). <http://www.pueblos-espana>. BankHacker (c).
- Richter, D.D., Ralston, Ch.W. y Harms, W.R. (1983). Chemical composition and spatial variation of bulk precipitation at a coastal plain watershed in South Carolina. *Water Res. Research*. Vol. 19(1): 134-140.
- Proyecto DGICYT: HID 1999-0205 (2003). Análisis del aporte de cloruro al terreno a partir de los datos de deposición húmeda de las estaciones del Instituto Nacional de Meteorología. 16 pp (informe en preparación).
- Drever, J. L. (1982). *The geochemistry of natural waters*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Löye-Pilot, M.D. y Moselli, J. (1988). Fluctuations of ionic composition of precipitations collected in Corsica related to changes in the origins of the incoming aerosols. *J. Aerosol Sci*. Vol. 19:577-585
- Rosenthal, E. (1987). Chemical composition of rainfall and groundwater in recharge areas of the best Shean-Harod multiple aquifer system, Israel. *Journal of Hydrology*. Vol. 89(3-4): 329-352.
- Schoeller, M. (1963). *Recherches sur l'acquisition de la composition chimique des eaux souteffaines*. Tesis Doctoral, Univ. de Bordeaux, 231 págs.

Tabla 1.- Valores bibliográficos de deposición total atmosférica de Cl. Se indica la localización geográfica. Las claves de ambiente muestreo son: RU: rural, IN: industrial, UR: urbana, CO: costera, AL: aldea o pequeño núcleo de población, FO: forestal, AT: alta montaña. Con ** se indican aquellos datos no disponibles

Estación	Provincia		UTM (X)		UTM (Y)		Fecha		Precipitación media anual (mm)	Contenido medio de Cl (mg/L)	Deposición anual de Cl (g/m ²)	Tipo de deposición	Altitud (m)	Distancia al mar (km)	Ambiente	Fuente
	Sigla	o isla	(X)	(Y)	de inicio	finalización	meses									
Atzeneta	AT	Castellón	10427	5670,6	oct-89	dic-91	26	662	1,8	1,2	total	402	30	RU	Carratalà et al. (1998)	
Morella	MO	Castellón	10405,7	6068,1	oct-89	dic-91	26	678	1,2	0,8	total	984	53	RU	Carratalà et al. (1998)	
Vilafrauca	VL	Castellón	10347,4	5846,5	oct-89	dic-91	26	711	1,3	1,0	total	1010	48	RU	Carratalà et al. (1998)	
Sogorb	SS	Castellón	10036,1	5271,2	oct-89	dic-91	26	470	2,1	1,0	total	358	29	RU	Carratalà et al. (1998)	
Vinarós	VN	Castellón	10824,6	5931,5	oct-89	dic-91	26	628	4,8	3,0	total	7	1	IN/UR/CO	Carratalà et al. (1998)	
Castelló	CS	Castellón	10488,6	5354	oct-89	dic-91	26	515	8,9	4,6	total	30	5	IN/UR/CO	Carratalà et al. (1998)	
Nules	NU	Castellón	10381,1	5219,8	oct-89	dic-91	26	527	4,5	2,4	total	13	5	IN/UR	Carratalà et al. (1998)	
Sant Mateu	SM	Castellón	10611,3	5846	oct-89	dic-91	26	791	2,6	2,1	total	325	22	RU	Carratalà et al. (1998)	
Ayora	AY	Valencia	9724,1	4423,8	oct-90	dic-91	14	590	1,6	0,9	total	552	73	RU	Carratalà et al. (1998)	
Carlet	CL	Valencia	10145,2	4627,5	oct-89	dic-91	26	678	4,8	3,3	total	48	22	AL	Carratalà et al. (1998)	
Chelva	CH	Valencia	9654,6	5113,7	oct-89	dic-91	26	367	2,2	0,8	total	800	66	AL	Carratalà et al. (1998)	
Gandia	GN	Valencia	10369,2	4349,7	oct-89	dic-91	26	830	6,4	5,3	total	22	4	UR/CO	Carratalà et al. (1998)	
Liria	LI	Valencia	9959,3	4996,6	oct-89	dic-91	26	482	2,2	1,1	total	164	33	AL	Carratalà et al. (1998)	
Oninyent	ON	Valencia	10010,8	4184,1	oct-89	dic-91	26	780	2,8	2,2	total	382	43	IN/UR	Carratalà et al. (1998)	
Requena	RQ	Valencia	9659,1	4842,2	oct-89	dic-91	26	393	2,5	1,0	total	692	67	RU	Carratalà et al. (1998)	
Sagunt	SG	Valencia	10306,5	5054,8	oct-89	dic-91	26	502	8,6	4,3	total	51	6	IN/UR/CO	Carratalà et al. (1998)	
Torrent	TR	Valencia	10134	4826,5	oct-89	dic-91	26	555	4,3	2,4	total	66	11	UR	Carratalà et al. (1998)	
Xàtiva	XA	Valencia	10069	4353,1	oct-89	dic-91	26	846	5,9	5,0	total	115	29	UR	Carratalà et al. (1998)	
Alcoi	AI	Alicante	10158,6	4077,8	oct-89	dic-91	26	522	3,1	1,6	total	562	31	IN/UR	Carratalà et al. (1998)	
Afaç	AÇ	Alicante	10467,8	3923,4	oct-89	dic-91	26	357	4,8	1,7	total	88	4	AL	Carratalà et al. (1998)	
Pitòs	PN	Alicante	9822,6	3762,2	oct-89	dic-91	26	212	2,6	0,6	total	380	46	AL	Carratalà et al. (1998)	
El Pilar	EP	Alicante	9925,6	3217,6	oct-89	dic-91	26	323	12,0	3,9	total	75	3	IN/UR/CO	Carratalà et al. (1998)	
Sax	SX	Alicante	9858,5	3947,3	oct-89	dic-91	26	166	2,3	0,4	total	471	35	AL	Carratalà et al. (1998)	
El Verger	EV	Alicante	10510,3	4191,3	oct-89	dic-91	26	738	6,8	5,0	total	22	2	RU	Carratalà et al. (1998)	
Orhuela	OH	Alicante	9809,2	3448,2	oct-89	dic-91	26	298	4,6	1,4	total	23	25	AL	Carratalà et al. (1998)	
Elx	EX	Alicante	10062,3	3730,2	oct-89	dic-91	26	186	2,7	0,5	total	23	13	AL	Carratalà et al. (1998)	
San Vçant	SV	Alicante	10246	3828,7	oct-89	dic-91	26	253	2,8	0,7	total	109	9	IN/UR	Carratalà et al. (1998)	
L'Avic	LV	Tarragona	11171,3	6830,4	1981	1986	60	583	1,1	0,6	total	880	37	FO	Bellot y Escarré (1988)	
Albatera	AB	Alicante	9867,3	3586,3	**	**	**	288	**	1,0	total	20	21	RU	Bellot y Escarré (1988)	
La Violada	LD	Huesca	10010	7511,1	**	**	**	498	**	0,4	total	340	110	RU	Bellot y Escarré (1988)	
Santiago	ST	A Coruña	3865	8489,6	**	**	**	627	**	0,9	total	260	58	UR	Calvo de Anta et al. (1979)	
La Castanya	LY	Barcelona	12303,6	7294,2	1983	1994	132	876	1,0	0,9	total	731	30	FO	Àvila (1996)	

Tabla 1.- Continuación

Estación	Sigla	Provincia		Fecha de inicio	Fecha de finalización	meses	Precipitación media anual (mm)	Contenido medio de Cl (mg/L)	Deposición anual de Cl (g/m ²)	Tipo de deposición	Análisis (n)	Distancia		Fuente	
		o isla	UTM (X)									UTM (Y)	al mar (m)		Ambiente
Baracaldo	BC	Vizcaya	8105,5	8792,8	29-dic-75	27-dic-76	12	1138	7,1	8,1	total	21	7	IN/UR/CO	Elejalde et al. (1981)
Basauri	BU	Vizcaya	8177,5	8752,8	29-dic-75	27-dic-76	12	1138	4,1	4,7	total	80	17	IN/UR	Elejalde et al. (1981)
Zereño	ZE	Vizcaya	8211	8705,8	29-dic-75	27-dic-76	12	1138	2,8	3,2	total	**	29	RU	Elejalde et al. (1981)
Bilbao N.	BN	Vizcaya	8157	8795,3	29-dic-75	27-dic-76	12	1138	4,8	5,5	total	19	12	IN/UR	Elejalde et al. (1981)
Erandio	ED	Vizcaya	8083,6	8814,7	29-dic-75	27-dic-76	12	1138	8,4	9,6	total	40	5	IN/UR	Elejalde et al. (1981)
Bilbao S.	BS	Vizcaya	8141,5	8769,3	29-dic-75	27-dic-76	12	1138	4,6	5,2	total	19	12	IN/UR	Elejalde et al. (1981)
Bilbao C.	BC	Vizcaya	8150	8775	01-ene-96	01-dic-96	12	**	**	1,4	seca	19	12	IN/UR	Aranguiz et al. (2002)
Vitoria	VI	Álava	8366,5	8395,7	ene-86	ene-87	12	663	1,2	0,8	total	525	64	IN/UR	Ezcurra et al. (1998)
Ixina	IT	Vizcaya	8260,6	8598,2	1984	1985	12	1500	3,8	5,6	total	980	35	FO	Antigüedad (1988)
Aramotz	AR	Vizcaya	8338,6	8650,2	1984	1985	12	1100	4,7	5,1	total	630	34	FO	Antigüedad (1988)
San Roque	SR	Cádiz	6105,6	1436,4	sep-82	sep-83	12	**	**	7,5	total	30	8	IN/UR/CO	Uslero y Gracia (1986)
Algeciras	AG	Cádiz	6067	1350,3	sep-82	sep-83	12	**	**	6,9	total	20	1	UR/CO	Uslero y Gracia (1986)
La Línea	LL	Cádiz	6145,4	1379,7	sep-82	sep-83	12	**	**	29,9	total	5	0,5	IN/UR/CO	Uslero y Gracia (1986)
Los Barrios	LB	Cádiz	6057,4	1399,6	sep-82	sep-83	12	**	**	6,8	total	23	6	IN/UR	Uslero y Gracia (1986)
Almoraima	AI	Cádiz	6104,3	1465,9	sep-82	sep-83	12	**	**	4,2	total	45	14	RU	Uslero y Gracia (1986)
Taraguilla	TG	Cádiz	6104,3	1409,3	sep-82	sep-83	12	**	**	6,2	total	24	3	IN/UR/CO	Uslero y Gracia (1986)
Sevilla	SE	Sevilla	5766,3	2796,4	**	**	**	**	**	6,4	total	12	71,4	UR	Uslero y Gracia (1986)
Almería	AL	Almería	8587	2083,1	**	**	**	**	**	5,1	total	30	1,4	UR/CO	Uslero y Gracia (1986)
Cartagena	MU	Murcia	9842,7	2885,7	**	**	**	**	**	30,3	total	5	1	UR/IN/CO	Uslero y Gracia (1986)
Aveiro	AV	Portugal	3691	6249,3	oct-85	oct-89	48	903	5,3	4,8	total	3	8,1	IN/UR/CO	Condoso de Melo (2002)
Albergaria e Veíha	AH	Portugal	3794,7	6287	oct-85	oct-89	48	1301	3,6	4,6	total	131	21,3	RU	Condoso de Melo (2002)
Oliveira do Bairro	OB	Portugal	3790,6	6117,4	oct-85	oct-89	48	1076	3,4	3,6	total	60	24,9	RU	Condoso de Melo (2002)
La Molina	LM	Girona	11844,5	7930	ago-87	ago-88	12	1288	0,9	1,2	total	1440	100,8	AT	Camarero y Catalán (1993)
Sallent	SL	Lleida	11211	7958	ago-87	ago-88	12	1675	0,8	1,4	total	1281	288,3	AT	Camarero y Catalán (1993)
Tavascan	TV	Huesca	11389,3	8084,6	ago-87	ago-88	12	869	0,7	0,6	total	**	156	AT	Camarero y Catalán (1993)
Veíha	VE	Lleida	11107,7	8155	ago-87	ago-88	12	1510	0,4	0,7	total	1600	196,5	AT	Camarero y Catalán (1993)
Santander	SD	Santander	7481,5	8941,9	jul-82	abr-85	33	994	15,5	15,4	total	15	0,5	IN/UR/CO	Díaz-Caneja et al. (1989)
Barcelona	BA	Barcelona	12140	6974	mar-72	jun-74	28	475	26,2	12,5	total	110	6,5	IN/UR/CO	Custodio et al. (1985)
Cerofada	CE	Teruel	10411,4	6320,6	ene-96	dic-97	24	486	1,9	0,9	total	**	59,1	RU	Alastuey et al. (1999)
Torre Miró	TM	Castellón	10409,8	6151,6	ene-96	dic-97	24	484	1,8	0,9	total	1220	50,7	RU	Alastuey et al. (1999)
Carrascals	CC	Castellón	10351,1	6151,6	ene-96	dic-97	24	405	1,0	0,4	total	1265	53,4	FO	Alastuey et al. (1999)
Lleria	LR	Tarragona	11150	6555	mar-74	jun-74	2	750	5,0	3,8	total	**	**	RU	Custodio y Arnaz (1976)

Tabla 1.- Continuación

Estación	Sigla	Provincia		Fecha de inicio	Fecha de finalización	meses	Precipitación media anual (mm)	Contenido medio de Cl (mg/L)	Deposición anual de Cl (g/m ²)	Tipo de deposición	Distancia		Ambiente	Fuente	
		o isla	UTM (X)								UTM (Y)	Altiura (m)			al mar (km)
Hospitalet del Infante	HI	Tarragona	11293,8	6546	mar-74	jun-74	2	750	5,0	3,8	total	12	0,4	CO	Custodio y Amalz (1976)
Col de Balaguer	CB	Tarragona	11210,8	6517,5	mar-74	jun-74	2	700	5,0	3,6	total	120	2,25	RU	Custodio y Amalz (1976)
Miami (Montroig)	MM	Tarragona	11340,5	6559	mar-74	jun-74	2	600	10,0	6,0	total	22	0,3	CO	Custodio y Amalz (1976)
Almonte	AO	Huelva	5170	2572,6	28-feb-89	31-ene-90	12	921	8,0	7,4	total	75	26,7	RU	Iglesias et al. (1996)
Costa	CA	Huelva	5086,3	2373,2	28-feb-89	31-ene-90	12	868	13,0	11,3	total	5	0,2	CO	Iglesias et al. (1996)
El Rocío	ER	Huelva	5162,7	2429,8	28-feb-89	31-ene-90	12	319	7,0	2,2	total	25	15,9	RU	Iglesias et al. (1996)
Los Cabezudos	LC	Huelva	5046,9	2456,9	28-feb-89	31-ene-90	12	428	4,0	1,7	total	40	11,1	RU	Iglesias et al. (1996)
Sevilla	SE	Sevilla	5766,3	2796,4	28-feb-89	31-ene-90	12	930	10,0	9,3	total	12	71,4	UR	Iglesias et al. (1996)
El Acebuche	EA	Huelva	5157,7	2360,9	feb-90	ene-96	72	1019	8,5	8,7	total	26	6,6	RUI/CO	Iglesias et al. (1996)
Cal Tort	CT	Barcelona	11724,8	7191,4	1983	1987	48	410	6,7	2,3	total	360	29	RU	Lambán (1998)
Comes	CO	Barcelona	11771,7	7207,5	1995	1996	12	556	4,6	3,2	total	280	30	RU	Lambán (1998)
Poble	PO	Barcelona	11697,3	7151,2	1995	1996	12	358	5,7	4,0	total	370	28	RU	Lambán (1998)
Sant Pere	SP	Barcelona	11591,5	7156,6	1995	1996	12	587	5,0	3,5	total	550	30	RU	Lambán (1998)
Mirafles	MI	Barcelona	11618,9	7090,9	1995	1996	12	539	5,3	5,4	total	650	26	RU	Lambán (1998)
S'Abufers	SA	Mallorca	13000,9	52.87,1	mar-96	sep-96	18	808	5,6	12,8	total	1	1,6	FO	Cardoso (1997)
L'Assarell	LA	Mallorca	12897,2	5347,3	dic-95	oct-96	10	1025	4,2	12,7	total	400	6,7	FO	Cardoso (1997)
Míner Gran	MG	Mallorca	12850,1	5298,8	feb-96	feb-97	12	1014	9,9	20,2	total	600	7,5	FO	Cardoso (1997)
Afàbia	AF	Mallorca	12723,5	5164,6	mar-94	ene-96	22	**	13,0	13,4	total	1000	6,3	FO	Cardoso (1997)
Ojén	OJ	Málaga	6486	1813,2	ene-96	mar-98	88	750	9,5	7,1	total	335	6,2	RU	Andreo et al. (1996)
Torremolinos	TL	Málaga	6757,6	1827,3	oct-90	mar-98	88	610	11,2	6,8	total	80	1,7	CO	Andreo et al. (1996)
Llanos de la Nava	LN	Málaga	6449	1935	mar-96	feb-97	12	367	7,4	2,7	total	1060	50	FO	Lifán et al. (1999a)
Cueva de Nerja	CN	Málaga	7377	2005	mar-91	dic-98	93	490	8,0	3,9	total	100	2	RUI/CO	Lifán et al. (1999c)
Motril	ML	Granada	7746,6	1993,2	feb-90	mar-91	12	423	17	7,2	total	40	5,2	UR/CO	Cardenal et al. (1994)
Vález de Beneudala	VB	Granada	7747	2067,4	feb-90	mar-91	12	434	4,6	2,0	total	130	12	RU	Cardenal et al. (1994)
Órgiva	OG	Granada	7816,5	2139,5	feb-90	mar-91	12	473	3,1	1,5	total	450	20,5	RU	Cardenal et al. (1994)
Cádir	CD	Granada	8015,4	2189,7	feb-90	mar-91	12	570	3,0	1,7	total	916	23	RU	Cardenal et al. (1994)
Los Pelos	LP	Granada	7827,5	2056,5	feb-90	mar-91	12	741	4,5	3,3	total	1840	10	AT	Cardenal et al. (1994)
Nacimiento-Fabres	NF	Almería	8573	2546	01-sep-88	31-ago-89	12	651	1,0	0,6	total	1660	100	FO	Domingo et al. (1994)
Moya	MY	G. Canaria	2748	633,3	04-abr-86	29-feb-88	23	404	29,9	9,9	total	485	39	RU	Gasparini ((1989)
Figas	FG	G. Canaria	2764,6	621,2	04-abr-86	31-mar-88	24	563	27,1	11,1	total	475	72	RU	Gasparini ((1989)
Lenzarote	LZ	G. Canaria	2752,5	566,1	04-abr-86	31-mar-88	24	722	17,5	9,1	total	1020	115	AL	Gasparini ((1989)
Cruz de Tejeda	CZ	G. Canaria	2733,7	519,9	04-abr-86	31-mar-88	24	462	17,9	8,2	total	1520	118	AT	Gasparini ((1989)

Tabla 1.- Continuación

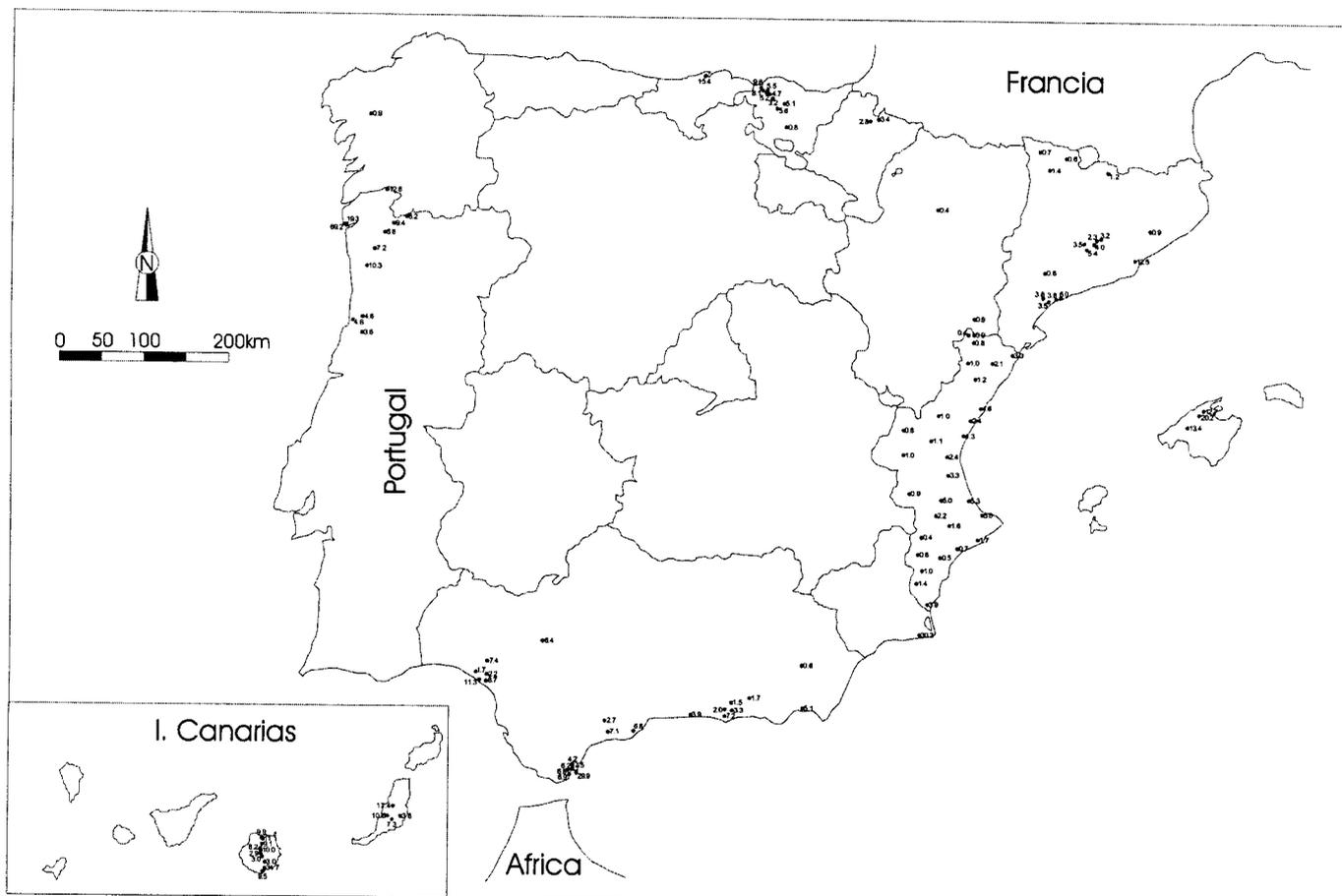
Estación	Sigla	Provincia o isla	UTM (X)	UTM (Y)	Fecha de inicio	Fecha de finalización	meses	Precipitación	Contenido	Deposición	Tipo de deposición	Altitud (m)	Distancia al mar (km)	Ambiente	Fuente
								media anual (mm)	medio de CI (mg/L)	anual de CI (g/m ²)					
Las Mesas	LS	G. Canaria	2741,4	497,8	04-abr-86	31-mar-88	24	665	15,1	10,0	total	1680	175	AT	Gasparini ((1989)
Agua Liente	AE	G. Canaria	2741,4	460,4	10-abr-86	31-mar-88	24	351	13,8	2,9	total	1145	200	RU	Gasparini ((1989)
San Bartolomé	SB	G. Canaria	2756,8	428,4	10-abr-86	31-mar-88	24	264	17,6	3,0	total	887	190	AL	Gasparini ((1989)
La Barrera	LB	G. Canaria	2785,5	370,8	10-abr-86	31-mar-88	24	167	18,1	3,0	total	530	98	RU	Gasparini ((1989)
La Gloria Alta	GA	G. Canaria	2782,7	305,5	01-sep-87	29-feb-88	6	89	116	34,7	total	225	30	RU	Gasparini ((1989)
Maspalomas	MP	G. Canaria	2760,2	267,6	01-sep-87	29-feb-88	6	76	51,9	9,5	total	66	25	UR	Gasparini ((1989)
Viana do Castelo (litoral)	VC	Portugal	3592	7292	25-ago-97	14-oct-98	14	1492	46,4	69,2	total	2	0,1	CO	Lima (2000)
Viana do Castelo (ciudad)	VC	Portugal	3615,5	7292	05-sep-97	05-oct-98	13	1500	12,9	19,3	total	10	1,5	UR	Lima (2000)
Braga	BR	Portugal	3922	7028,2	25-ago-97	15-jul-98	11	1489	4,9	7,2	total	200	30	UR	Lima (2000)
Paranhos	PH	Portugal	4025,8	7207,3	02-sep-97	30-jun-98	10	1692	3,9	6,6	total	570	41	RU	Lima (2000)
Junceda	JC	Portugal	4124,8	7306,2	28-ago-97	30-jun-98	10	2797	3,4	9,4	total	1000	53	FO	Lima (2000)
Carris	CR	Portugal	4261,5	7376,9	28-ago-97	05-nov-98	14	3450	1,8	6,2	total	1507	68	AT	Lima (2000)
Caldas da Saúde	DD	Portugal	3837,1	6839,4	05-nov-97	04-jun-98	6	1550	6,6	10,3	total	75	22	IN	Lima (2000)
Melgaço	MÇ	Portugal	4049,4	7669	13-jun-97	04-may-98	11	2200	5,7	12,6	total	1170	58	FO	Lima (2000)
Pozo Negro	PN	Fuerteventura	4263	861	1998	1999	12	80	47,2	3,8	total	90	4,7	RU	Herrera (2001)
Pájara	PA	Fuerteventura	4093	875	1998	1999	12	115	91,8	10,6	total	190	6,3	RU	Herrera (2001)
Tuiñeje	TJ	Fuerteventura	4148	842	1998	1999	12	113	64,5	7,3	total	200	11,4	RU	Herrera (2001)
Morro de Velosa	MV	Fuerteventura	4152	977	1998	1999	12	194	89,8	17,4	total	660	6,4	RU	Herrera (2001)
Eugi	EG	Navarra	9270	8471,4	1998	2001	36	**	**	2,8	total	640	57	RU/FO	Elustondo (2003)
Burquete	GU	Navarra	9361	8492,1	1998	1999	12	**	**	3,4	total	893	66	RU/FO	Elustondo (2003)

Tabla 2.- Valores bibliográficos de deposición húmeda atmosférica de Cl. Se indica la localización geográfica. Las claves de ambiente muestreo son: RU: rural, IN: industrial, UR: urbana, CO: costera, AL: aldea o pequeño núcleo de población, FO: forestal, AT: alta montaña. Con ** se indican aquellos datos no disponibles

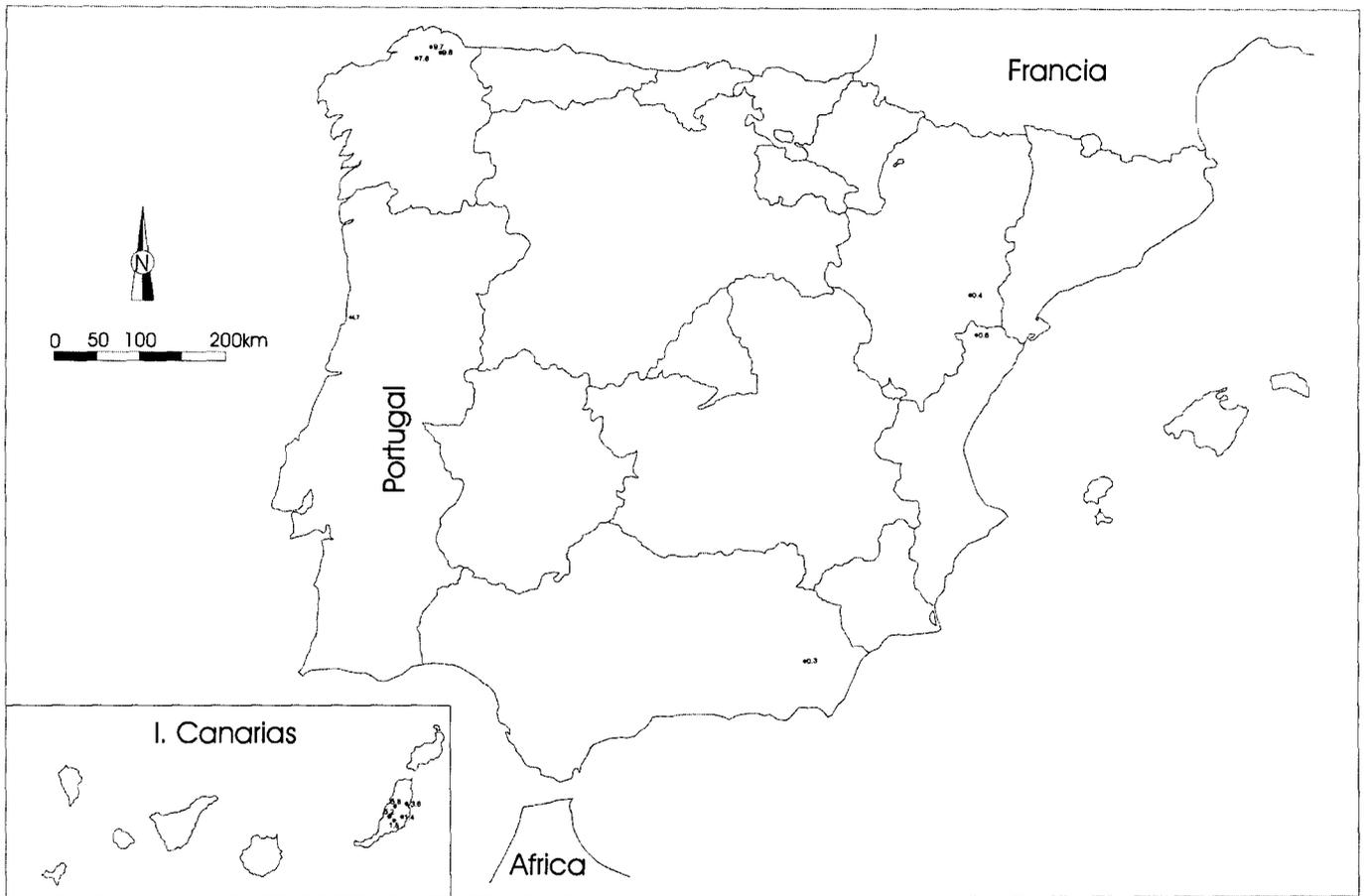
Estación	Sigla	Provincia o isla	UTM (X)	UTM (Y)	Fecha de inicio	Fecha de finalización	meses	Precipitación media anual (mm)	Contenido medio de Cl (mg/L)	Deposición anual de Cl (g/m ²)	Tipo de deposición	Altitud (m)	Distancia al mar (km)	Ambiente	Fuente
Aveiro	AV	Portugal	3691	6249,3	oct-85	oct-89	48	903	5,2	4,7	húmeda	3	8,1	IN/UR/CO	Casimiro <i>et al.</i> (1991)
Muras	MU	Lugo	4554,6	9151	sep-88	may-89	8	1728	7,5	9,7	húmeda	540	33	RU	Prada-Sanchez <i>et al.</i> (1993)
Viveiro	VV	Lugo	4649,5	9088,7	sep-88	may-89	8	1535	8,5	9,8	húmeda	1000	35	CO	Prada-Sanchez <i>et al.</i> (1993)
As Pontes	AP	A Coruña	4390,9	9026,3	sep-88	may-89	8	2175	4,7	7,6	húmeda	480	26	IN/UR/CO	Prada-Sanchez <i>et al.</i> (1993)
Alcañiz	AC	Teruel	10337,1	6495,2	nov-95	oct-96	12	246	1,8	0,4	húmeda	381	75,9	RU	Alastuey <i>et al.</i> (1999)
Morella	MO	Castellón	10405,7	6061,1	ene-97	dic-97	12	363	1,6	0,6	húmeda	984	52,8	RU	Alastuey <i>et al.</i> (1999)
Nacimiento-Fiabres	NF	Almería	8573	2546	sep-88	ago-89	12	**	**	0,3	húmeda	1660	100	FO	Domingo <i>et al.</i> (1994)
Pozo Negro	PN	Fuerteventura	4263	861	1998	1999	12	80	17,1	1,4	húmeda	90	4,7	RU	Herrera (2001)
Pajara	PA	Fuerteventura	4093	875	1998	1999	12	115	44,9	5,2	húmeda	190	6,3	RU	Herrera (2001)
Tuiñeje	TJ	Fuerteventura	4148	842	1998	1999	12	113	16,3	1,8	húmeda	200	11,4	RU	Herrera (2001)
Morro de Veksa	MV	Fuerteventura	4152	977	1998	1999	12	194	29,9	5,8	húmeda	680	6,4	RU	Herrera (2001)
Puerto del Rosario	MV	Fuerteventura	4298	1012	1998	1999	12	78	46,0	3,6	húmeda	20	0,6	UR	Herrera (2001)

Tabla 3.- Valores bibliográficos de deposición seca atmosférica de Cl. Se indica la localización geográfica. Las claves de ambiente muestreo son: RU: rural, IN: industrial, UR: urbana, CO: costera, AL: aldea o pequeño núcleo de población, FO: forestal, AT: alta montaña. Con ** se indican aquellos datos no disponibles

Estación	Sigla	Provincia		UTM (X)	UTM (Y)	Fecha de inicio	Fecha de finalización	meses	Precipitación	Contenido	Deposición	Tipo de deposición	Altitud (m)	Distancia al mar (km)	Ambiente	Fuente
		media anual (mm)	medio de Cl (mg/L)						anual de Cl (μm^2)							
Nacimiento-Fiebres	NF	Almería		8573	2546	01-sep-88	31-ago-89	12	**	**	0,4	seca	1660	100	FO	Domingo et al. (1994)
Meturgia	ME	Huelva		4862,1	2565,2	10-ago-99	24-nov-00	15	**	**	1,1	seca	10	2	IN	Quero et al. (2002)
Petroquímica	PT	Huelva		4896,6	2565,2	14-oct-99	07-sep-00	11	**	**	0,7	seca	10	2	IN	Quero et al. (2002)
Fosfatos	FO	Huelva		4857,2	2523,4	20-jul-99	23-dic-00	17	**	**	1,8	seca	10	2	IN	Quero et al. (2002)
Aerosol marino	AM	Huelva		4810,4	2520,9	23-oct-99	23-oct-00	14	**	**	2,2	seca	1	0,2	CO	Quero et al. (2002)
La Castanya	LY	Barcelona		12303,6	7294,2	01-may-96	31-jun-96	2	**	**	0,2	seca	731	30	FO	Rodrigo y Ávila (2002)
Riera de Sant Pere	RP	Barcelona		12292	7227,4	01-may-96	31-jun-96	2	**	**	0,3	seca	535	18	RU//FO//IN	Rodrigo y Ávila (2002)
Bibao C.	BC	Vizcaya		8150	8775	01-ene-96	31-dic-96	12	**	**	1,4	seca	19	12	IN/UR	Aranguiz et al. (2002)



Mapa 1a.- Representación de los valores de deposición total atmosférica de Cl, dada en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$



Mapa 1b.- Representación de los valores de deposición húmeda atmosférica de Cl, dada en $g \cdot m^{-2} \cdot año^{-1}$



Mapa 1a.- Representación de los valores de deposición seca atmosférica de Cl, dada en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$

Anexo. Tratamiento de datos

Se han agrupado en rangos todos los valores, en conjunto, de deposición total, húmeda y seca de Cl y se han representado en un histograma. Se han seleccionado inicialmente, en función a los valores disponibles, 10 clases de valores representativos de deposición de Cl que parecen en el siguiente gráfico, indicando el número de datos que incluyen cada clase.

Se observan dos funciones superpuestas que corresponden con las dos familias de valores de deposición más comunes. La primera agrupa aquellos valores en torno a $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ característicos de las zonas de interior peninsular o de cotas elevadas; y los valores en torno a $5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ que se asocian a valores tomadas en las zonas costeras mediterráneas del SE y E peninsular, y zonas del costeras del N peninsular donde se registran valores de deposición entre $7,5$ y $10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$.

