



ELABORACIÓN DEL MAPA GEOQUÍMICO DE LA
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE LA RIOJA

ELABORACIÓN DEL MAPA GEOQUÍMICO DE LA
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE LA RIOJA

Diciembre de 2006

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA

ANEXOS:

ANEXO I.- RESULTADOS ANALÍTICOS

ANEXO II.- FICHAS DE REGISTRO DE DATOS PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE GEOQUÍMICA

ANEXO III.- GARANTÍA DE CALIDAD

PLANOS



INDICE

Pag nº

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. OBJETIVOS.....	8
1.2. ÁMBITO TERRITORIAL.....	10
1.3. EQUIPO DE TRABAJO Y MEDIOS EMPLEADOS.....	11
2. METODOLOGÍA DE TRABAJO	13
2.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN BÁSICA.....	13
2.2. SELECCIÓN DE ELEMENTOS A ANALIZAR Y ELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS ANALÍTICAS.....	15
2.3. PLANIFICACIÓN DE LA CAMPAÑA DE CAMPO.....	16
2.4. TRABAJOS DE CAMPO.....	17
2.4.1. <i>Recogida de muestras de sedimentos de corriente</i>	18
2.4.2. <i>Recogida de muestras de suelos residuales</i>	20
2.4.3. <i>Recogida de muestras de roca</i>	20
2.4.4. <i>Recogida de muestras de agua</i>	21
2.5. PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA SU ENVÍO A LABORATORIO.....	21
2.6. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS.....	24
2.6.1. <i>Análisis de muestras de sedimentos, suelos y rocas</i>	24
2.6.2. <i>Análisis de muestras de agua</i>	26
2.7. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	26
2.7.1. <i>Revisión de la información y corrección de errores</i>	27
2.7.2. <i>Carga y preparación de la información</i>	28
2.7.3. <i>Generación de la base de datos</i>	29
2.8. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS GEOQUÍMICOS.....	31
2.9. INTERPRETACIÓN.....	32
2.10. INFORME FINAL.....	33
3. CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS Y CLIMÁTICAS	35
3.1. FISIOGRAFÍA.....	35



3.2.	CLIMATOLOGÍA.....	36
3.3.	HIDROGRAFÍA.....	37
4.	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....	39
4.1.	CORDILLERA IBÉRICA.....	40
4.1.1.	<i>Precámbrico</i>	42
4.1.2.	<i>Cámbrico</i>	42
4.1.3.	<i>Ordovícico</i>	43
4.1.4.	<i>Carbonífero</i>	43
4.1.5.	<i>Triásico</i>	44
4.1.6.	<i>Jurásico inferior y medio</i>	45
4.1.7.	<i>Purbeck-Weald</i>	45
4.1.8.	<i>Cretácico inferior (Aptiense–Albiense)</i>	46
4.1.9.	<i>Cretácico superior</i>	46
4.1.10.	<i>Rocas ígneas</i>	47
4.1.11.	<i>Características estructurales</i>	47
4.2.	CUENCA DEL EBRO.....	48
4.2.1.	<i>Terciario</i>	48
4.2.2.	<i>Cuaternario</i>	52
4.2.3.	<i>Características estructurales</i>	52
4.3.	SIERRA DE CANTABRIA.....	53
4.4.	LINEAMIENTOS.....	53
5.	CARACTERÍSTICAS METALOGENÉTICAS.....	55
5.1.	MINERALES METÁLICOS.....	58
5.1.1.	<i>Mineralizaciones de hierro</i>	58
5.1.2.	<i>Mineralizaciones de plomo-cinc</i>	61
5.1.3.	<i>Mineralizaciones de cobre</i>	62
5.1.4.	<i>Pirita</i>	63
5.2.	MINERALES ENERGÉTICOS.....	64
5.3.	MINERALES INDUSTRIALES.....	64
5.3.1.	<i>Sulfato sódico</i>	64
5.3.2.	<i>Cloruro sódico</i>	65
5.3.3.	<i>Yeso</i>	65
6.	GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS Y SUELOS. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO UNIVARIANTE.....	67
6.1.	AG, PLATA.....	70
6.2.	AL, ALUMINIO.....	70
6.3.	AS, ARSÉNICO.....	71



6.4.	AU, ORO	71
6.5.	BA, BARIO	72
6.6.	BE, BERILIO	72
6.7.	BI, BISMUTO	73
6.8.	BR, BROMO.....	73
6.9.	CA, CALCIO.....	73
6.10.	CD, CADMIO.....	74
6.11.	CE, CERIO.....	74
6.12.	CO, COBALTO.....	75
6.13.	CR, CROMO	75
6.14.	CS, CESIO	76
6.15.	CU, COBRE	76
6.16.	EU, EUROPIO.....	77
6.17.	FE, HIERRO.....	77
6.18.	HF, HAFNIO.....	77
6.19.	HG, MERCURIO	78
6.20.	IR, IRIDIO.....	78
6.21.	K, POTASIO.....	78
6.22.	LA, LANTANO.....	79
6.23.	LU, LUTECIO.....	79
6.24.	MG, MAGNESIO.....	80
6.25.	MN, MANGANESO	80
6.26.	MO, MOLIBDENO.....	80
6.27.	NA, SODIO.....	81
6.28.	ND, NEODIMIO.....	81
6.29.	NI, NÍQUEL	82
6.30.	P, FÓSFORO	82
6.31.	PB, PLOMO	82
6.32.	RB, RUBIDIO	83
6.33.	S, AZUFRE	83
6.34.	SB, ANTIMONIO	84
6.35.	SC, ESCANDIO	84
6.36.	SE, SELENIO.....	85
6.37.	SM, SAMARIO	85
6.38.	SN, ESTAÑO	85
6.39.	SR, ESTRONCIO.....	86
6.40.	TA, TÁNTALO.....	86
6.41.	TB, TERBIO	86



6.42.	TH, TORIO	87
6.43.	TI, TITANIO	87
6.44.	U, URANIO	88
6.45.	V, VANADIO	88
6.46.	W, WOLFRAMIO	88
6.47.	Y, ITRIO	89
6.48.	YB, ITERBIO	89
6.49.	ZN, CINC	90
6.50.	CONCLUSIONES	90
7.	GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS Y SUELOS. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO BIVARIANTE.....	95
8.	GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS TRATAMIENTO ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE ..	99
8.1.	TRATAMIENTO DE LA MUESTRA.....	100
8.1.1.	<i>Transformaciones de los datos</i>	100
8.1.2.	<i>Tratamiento de los valores atípicos</i>	101
8.2.	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	104
8.2.1.	<i>Componente 1</i>	110
8.2.2.	<i>Componente 2</i>	111
8.2.3.	<i>Componente 3</i>	112
8.2.4.	<i>Componente 4</i>	113
8.2.5.	<i>Componente 5</i>	114
8.3.	ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS (<i>CLUSTER ANALYSIS</i>).....	115
8.4.	ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS	119
9.	CARTOGRAFÍA GEOQUÍMICA AMBIENTAL	123
10.	GEOQUÍMICA DE ROCAS	129
11.	GEOQUÍMICA DE AGUAS	133
12.	CONCLUSIONES	137
12.1.	OBJETIVOS.....	137
12.2.	TRABAJOS REALIZADOS	138
12.3.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO UNIVARIANTE	138
12.4.	TRATAMIENTO MULTIVARIANTE. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	141
12.5.	TRATAMIENTO MULTIVARIANTE. ANÁLISIS CLUSTER.....	144
12.6.	TRATAMIENTO MULTIVARIABLE. ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS	146



12.7. CARTOGRAFÍA GEOQUÍMICA AMBIENTAL 147

ANEXO I.- RESULTADOS ANALÍTICOS

ANEXO II.- FICHAS DE REGISTRO DE DATOS PARA LA TOMA DE MUESTRAS
DE GEOQUÍMICA

ANEXO III.- GARANTÍA DE CALIDAD





1. **INTRODUCCIÓN**

En esta Memoria se recogen los trabajos efectuados y los resultados obtenidos en la asistencia técnica ELABORACIÓN DEL MAPA GEOQUÍMICO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE LA RIOJA, Expediente nº 07-5-2.01-0063/2005, realizada por Consultores Independientes en Gestión de Recursos Naturales, S. A. (CRN) para la Dirección General de Política Territorial de la Consejería de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno de La Rioja.

La asistencia técnica fue convocada a concurso público en el BOR nº 101, de 30 de julio de 2005, adjudicándose el 14 de octubre de 2005 a CRN. El contrato fue firmado el 14 de octubre de 2005, desarrollándose los trabajos desde esa fecha hasta diciembre de 2006.

Los trabajos desarrollados en esta asistencia técnica se encuadran en el Plan Director de las Actividades Mineras en la Comunidad Autónoma de La Rioja. Como consecuencia del proceso de transferencias de competencias en el sector minero, el Gobierno de La Rioja tomó la decisión de elaborar el Plan Director de las Actividades Mineras en la Comunidad Autónoma de La Rioja, que tuvo como finalidad establecer la política minera, incardinándola dentro de la política económica general aplicada por el Gobierno de La Rioja, para de esta manera disponer de una herramienta que permita planificar el ordenamiento, la modernización y la mejora del sector minero de La Rioja dentro de las competencias que esta Comunidad Autónoma ha asumido desde el año 2001.

El Plan Director de las Actividades Mineras en la Comunidad Autónoma de La Rioja se estructura en un conjunto de Ejes de Intervención, entre los que se encuentra el de la ORDENACIÓN MINERA, conformado por los Programas de Ordenación Territorial y Ordenación Administrativa.

El Programa de Ordenación Territorial, a su vez, tiene como objetivo propiciar el aprovechamiento ordenado y eficiente de los recursos minerales de la Comunidad, dotando al sector extractivo riojano y a la Administración Minera de la información



infraestructural, técnica y científica necesaria para que empresas y Administración puedan cumplir adecuadamente con su misión.

Como acciones a desarrollar en el Programa de Ordenación Territorial se encuentran, entre otras, el estudio geoquímico del territorio autonómico, como instrumento para la ordenación minero territorial; el impulso de los Sistemas de Información Geográfica de recursos mineros, geológicos y geomorfológicos; la elaboración de mapas de compatibilidad minera, territorial y ambiental; y la elaboración de las Directrices de Ordenación Minero Ambiental de la Comunidad Autónoma de La Rioja, cuyo objetivo básico es la ordenación de los recursos, tanto desde el punto de vista de la explotación minera como desde el punto de vista de la protección del Medio Ambiente, combinando ambos enfoques para optimizar el beneficio del recurso y minimizar las afecciones al medio.

Dentro de este contexto, los trabajos que se han abordado con la realización de esta asistencia técnica han sido los correspondientes a la adquisición de muestras de sedimentos de arroyos, suelos, rocas y aguas; el análisis multielemental de las muestras tomadas y el tratamiento y la interpretación de los resultados analíticos. Se trata pues de un trabajo básico de infraestructura, que contribuirá a la ampliación del conocimiento del potencial minero de La Rioja, así como a posibilitar la realización de otra serie de estudios relacionados con el conocimiento medioambiental y el diagnóstico del estado de contaminación en la Comunidad Autónoma.

1.1. OBJETIVOS

La geoquímica multielemental de materiales superficiales ha demostrado ampliamente su validez en cuanto a la identificación de áreas anómalas, tanto a la hora de detectar su relación con posibles mineralizaciones, en zonas donde no se han observado ocurrencias o indicios mineros, como en su aplicación medioambiental, poniendo de manifiesto la existencia de fondos geoquímicos anómalos producidos por agentes contaminantes.



Como ya es sabido, la composición química de un medio cualquiera depende fundamentalmente de la geología del sustrato rocoso y de sus concentraciones minerales, tanto naturales como inducidas por la actividad del hombre. Por diferentes procesos los elementos químicos pasan a incorporarse a los suelos, así como a los sedimentos y aguas superficiales.

El desarrollo alcanzado durante las últimas décadas en el campo de la exploración geoquímica ha ido a la par con los avances en cuanto a las metodologías y técnicas de los análisis químicos, manifestándose sobre todo en la aparición de las técnicas de análisis multielemental y con la utilización de las nuevas herramientas informáticas (ordenadores personales, programas estadísticos y sistemas de información geográfica).

Esto ha permitido a los diferentes servicios geológicos y medioambientales la incorporación en su metodología de programas de exploración geoquímica multielemental de ámbito regional, que les facilita la realización de un rápido análisis sistemático de los problemas que se presentan asociados a la planificación del territorio.

En este sentido, en la actualidad se ha revelado como imprescindible completar la cobertura del territorio con geoquímica multielemental, creando una serie de documentos básicos para la elaboración posterior de mapas temáticos derivados, con incidencia en sectores económicos como las obras públicas, la explotación de recursos minerales, la gestión de recursos hídricos, la sanidad, la protección del medio natural, etc.

Así pues, y con objeto de proporcionar al planificador los datos geoquímicos necesarios para abordar un análisis del territorio, sus recursos y conocimiento medioambiental; se ha concretado la presente asistencia técnica, cuyos objetivos fundamentales están dirigidos a la obtención de un conocimiento de la geoquímica de la Comunidad Autónoma de La Rioja, fundamentalmente en relación con su geología, recursos minerales y aspectos ambientales.



El trabajo realizado ha tenido como objetivo principal la elaboración del mapa geoquímico de la Comunidad Autónoma de La Rioja, en el que, sobre la base geológica existente, se representa toda la información obtenida mediante las correspondientes determinaciones analíticas del medio natural. Este mapa geoquímico recoge, a la escala adecuada, la información obtenida, dirigida a la clasificación de las diferentes áreas del territorio riojano, en función de sus características geológicas, metalogénicas y geoquímicas, todo ello orientado a la mejor utilización y ordenación del territorio autonómico.

Con la realización de este trabajo se pretende, en resumen, contribuir a la generación de una buena infraestructura geoquímica de La Rioja, fundamental para la planificación de cualquier otra acción que implique el uso y/o beneficio del suelo o del subsuelo.

El trabajo realizado ha tenido, además, los siguientes objetivos concretos:

- Definición de fondos geoquímicos.
- Conocimiento de las pautas de distribución de una amplia gama de elementos químicos y sus factores de control.
- Conocimiento de la variabilidad regional de los fondos geoquímicos.
- Conocimiento e interpretación de las asociaciones geoquímicas que explican la variabilidad regional.
- Diferenciación entre las pautas de distribución naturales y las de origen antrópico y distinción entre las asociaciones geoquímicas de significación natural y aquéllas de origen antrópico.
- Delimitación de áreas geoquímicamente anómalas.
- Aproximación al estado medioambiental de la Comunidad Autónoma, basada en la información geoquímica de los sedimentos y suelos.

1.2. ÁMBITO TERRITORIAL

El ámbito territorial del estudio ha sido la totalidad del territorio de la Comunidad Autónoma de La Rioja, cuya superficie es de unos 5.045 km².



1.3. EQUIPO DE TRABAJO Y MEDIOS EMPLEADOS

El proyecto ha sido realizado por un equipo técnico de CRN integrado por:

JUAN LEÓN COULLAUT SÁENZ DE SICILIA. Ingeniero de Minas. Jefe de Proyecto.

JESÚS A. FERNÁNDEZ CARRASCO. Geólogo. Responsable de gestión de calidad y laboratorios.

JUAN CARLOS DELGADO SÁNCHEZ. Geólogo. Coordinador de Campo y Gestión de bases de datos.

MANUEL MARTÍNEZ PELAYO. Ingeniero de Minas. Tratamiento e interpretación de resultados.

JUAN IGNACIO COULLAUT SANTURTÚN. Ingeniero de Minas. Tratamiento de resultados.

CHARLOTTE LIETAER. Ingeniero de Minas. Tratamiento de datos.

GILLIAN GÓMEZ MEDIAVILLA. Licenciada en Ciencias Ambientales. Gestión de bases de datos.

IGNACIO QUEVEDO ALONSO. Geólogo. Prospector.

MONTSERRAT NOSTY PRIEDE. Geólogo. Prospector.

ALBERTO JIMÉNEZ VELA. Biólogo. Prospector.

ROCÍO RODRÍGUEZ ESCOURIDO. Geólogo. Prospector.

Todo el personal de campo ha contado con los medios adecuados para la realización de los trabajos, como son vehículos y el material de muestreo necesario. Los



prospectores fueron equipados además con GPS GARMIN 12, con capacidad de almacenamiento de datos y conexión a ordenador, y cámaras fotográficas digitales.

La oficina del proyecto se estableció en las instalaciones que CRN tiene en Madrid, C. Cristóbal Bordiú, 35; Código Postal 28003. Además se habilitó una oficina de campo en Villamediana de Iregua, que cumplió con todos los requisitos necesarios, en cuanto a espacio, ubicación y equipamiento, para la realización de los trabajos de planificación y control y como centro de operaciones para dar apoyo a los trabajos de campo, con dependencias habilitadas para el almacenamiento de las muestras hasta su envío a preparación.

La preparación de los diferentes tipos de muestras fue realizada en las dependencias del Instituto Geológico y Minero de España en Peñarroya-Puertollano, (Córdoba), donde se ha contado con los medios adecuados para el secado, disgregado y tamizado de las muestras.

Para la realización de los análisis químicos de sedimentos, suelos y rocas, se ha contado con la colaboración del laboratorio de análisis químicos Activation Laboratories, Ltd (Actlabs), empresa canadiense de alto prestigio internacional dentro del campo de la investigación minera que cuenta, además, con la certificación de Garantía de Calidad ISO 17025, que evalúa el sistema de calidad, así como la metodología utilizada. Los análisis de aguas fueron realizados en los laboratorios del Instituto Geológico y Minero de España.

La Dirección del trabajo, por parte de la Dirección General de Política Territorial de la Consejería de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno de La Rioja, ha corrido a cargo de ANTONIO PADRÓ SIMARRO, Jefe del Servicio de Ordenación del Territorio.



2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se describe a continuación la metodología de trabajo que se ha seguido para la elaboración del mapa geoquímico de la Comunidad Autónoma de La Rioja. La secuencia de actividades realizadas ha sido la siguiente:

- Recopilación y análisis de la información básica.
- Selección de los elementos a analizar y elección de las técnicas analíticas adecuadas.
- Preparación y planificación de trabajos.
- Preparación de la infraestructura de campo.
- Recogida, preparación y envío de las muestras al laboratorio.
- Análisis con las técnicas adecuadas para los elementos y límites de detección establecidos.
- Tratamiento estadístico de los datos analíticos.
- Interpretación de los resultados.
- Presentación de resultados.

2.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN BÁSICA

En una etapa inicial del trabajo se ha recopilado y analizado la información de carácter geológico y metalogénico existente y de interés para los objetivos del proyecto. También se han consultado los documentos realizados por el Gobierno de La Rioja, referentes a la ubicación de industrias, zonas industriales y vertederos, como potenciales focos de contaminación.

Se ha recopilado toda la información geológica existente sobre la Comunidad Autónoma, orientada al fin que se persigue en el trabajo, empezando por las Hojas geológicas a escala 1:200.000, en concreto las Hojas números H-21 Logroño, editada en 1971, H-22 Tudela, de 1972; y H-31 Soria, también de 1972. Estas hojas son muy antiguas y la información procede de síntesis de trabajos anteriores, pero han servido para un encuadre general.



También se han revisado los mapas metalogénicos y de rocas industriales a escala 1:200.000. Estos mapas de síntesis son también muy antiguos, pero han permitido obtener información relativa a los indicios mineros.

Así mismo, se ha recopilado y sintetizado la información correspondiente a las Hojas a escala 1:50.000, serie MAGNA, siguientes: 169 Casalarreina (editada en 1978), 170 Haro (1979), 171 Viana (1987), 202 Santo Domingo de la Calzada (1990), 203 Nájera (1990), 204 Logroño (1976), 205 Lodosa (1977), 240 Ezcaray (1978), 241 Anguiano (1990), 242 Munilla (1990), 243 Calahorra (1977), 244 Alfaro (1977), 278 Canales de la Sierra (1978), 279 Villoslada de Cameros (1982), 280 Enciso (1981), 281 Cervera del Río Alhama (1982), 282 Tudela (1977), 319 Ágreda (1981).

A partir de la cartografía MAGNA se ha realizado una síntesis geológica a escala 1:200.000 que ha servido de base para la interpretación de los resultados.

En la preparación de la base cartográfica se ha empleado también la síntesis geológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

Como información geológica básica se ha utilizado también la información contenida en GEOLOGÍA DE ESPAÑA, publicado en 2004 por la Sociedad Geológica de España y el Instituto Geológico y Minero.

La información de carácter minero y metalogénico que se sintetiza en el capítulo 5 se ha obtenido en parte de los capítulos 2 y 3 del Plan Director de las Actividades Mineras en la Comunidad Autónoma de La Rioja 2005-2006 (PLAMINCAR), realizado en marzo de 2005 por la Dirección General de Política Territorial. Como base cartográfica se ha empleado el mapa de indicios mineros de este documento, que incluye 339 indicios.

Además, se ha consultado el Servicio de Documentación del Instituto Geológico y Minero de España, analizándose los siguientes documentos relativos a La Rioja:

- Cobertura gráfica por estudios mineros de la zona de la Cordillera Ibérica, 1981.
- Estudio preliminar de los yacimientos e indicios de sulfato sódico natural en



España, 1980.

- Plan Nacional de Investigación Minera. Hierros y plomos de la Ibérica, 1964.
- Programa Sectorial de Investigación de minerales de hierro. Subsector VII Centro-Levante. Área 5 Sierra de la Demanda. Estimación del potencial minero, 1975.
- Proyecto Sierra de la Demanda (Burgos-Logroño), 1973.

Por último, se han incorporado como bases cartográficas empleadas para la interpretación de los datos, los siguientes planos del Inventario de Suelos Potencialmente Contaminados realizado por la Consejería de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial:

- Emplazamientos inventariados nivel 1 (gasolineras, industrias, ruinas industriales y vertederos).
- Vertederos ubicados.

Como base topográfica para la planificación de la campaña, situación de muestras en campo e interpretación y presentación de resultados, se ha empleado topografía a escala 1:5.000 y ortofotos del Gobierno de La Rioja.

2.2. SELECCIÓN DE ELEMENTOS A ANALIZAR Y ELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS ANALÍTICAS

Partiendo de los objetivos del trabajo, de carácter infraestructural orientado a conseguir un mejor conocimiento del potencial minero y medioambiental de La Rioja, y de los condicionantes presupuestarios; se decidió recurrir a paquetes comerciales de análisis multielemental que permitieran cubrir la totalidad del territorio de la Comunidad Autónoma con una densidad adecuada de muestras y un elevado número de elementos químicos analizados.

El paquete seleccionado fue el 1H de los laboratorios Actlabs. Este paquete analítico permite el análisis de los elementos traza asociados a la práctica totalidad de las mineralizaciones de interés económico, así como de los elementos asociados a



potenciales focos de contaminación, con bajos límites de detección merced al empleo de técnicas analíticas de activación neutrónica (INAA) y plasma de acoplamiento inductivo con espectrografía óptica (ICP/OES) o espectrometría de masas (ICP/MS).

En total se han determinado los 49 elementos siguientes: Au, As, Ba, Ca, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, Ir, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sn, Ta, Th, U, W, Yb, Ag, Al, Be, Bi, Cd, Cu, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sr, Tb, Ti, V, Y, Zn, S.

2.3. PLANIFICACIÓN DE LA CAMPAÑA DE CAMPO

Simultáneamente al análisis de la información se ha procedido a la planificación de la campaña de campo. Atendiendo a los objetivos finales del proyecto, se han seguido los siguientes criterios para la planificación del muestreo:

- Toma de muestras de sedimentos de redes de drenaje según una malla regular lo más cerrada posible, que permita muestrear la totalidad del territorio de la Comunidad Autónoma.
- Toma de muestras de suelos, con la misma densidad que la malla de sedimentos, en aquellas zonas que por sus características topográficas no presenten una red de drenaje bien definida y sí suelos bien desarrollados.
- Toma de muestras de rocas para la caracterización litogeoquímica de las unidades geológicas existentes en La Rioja.
- Toma de muestras de agua en manantiales o cursos altos de ríos, con objeto de conocer las condiciones naturales de las aguas y su contenido en elementos disueltos. Atendiendo a los objetivos del proyecto, no se ha considerado de interés el muestreo de ríos contaminados que ya son objeto de control por otros organismos de la Administración.

La distribución de los puntos de muestreo se ha plasmado sobre mapas topográficos a escala 1:50.000 con una pauta de muestreo de aproximadamente 1 muestra cada 5 km², densidad que se considera adecuada para obtener una cartografía geoquímica básica del territorio de La Rioja. Los puntos de muestreo se han situado preferentemente en los puntos de salida de las cuencas de drenaje. Desde estos mapas se han pasado los puntos a mapas topográficos a escala 1:25.000, que han



sido los utilizados en el trabajo de campo.

Para la recogida de muestras se ha creado una estructura compuesta por un Coordinador de Campo y dos equipos, integrados cada uno de ellos por dos personas: un prospector y un ayudante. Cada equipo ha contado con un vehículo, un GPS y el material de muestreo necesario (bolsas, marcadores, herramientas de muestreo y preparación *in situ*, teléfono móvil, etc).

Con objeto de evitar errores en el muestreo, a cada equipo se le asignaron cuadrantes 1:25.000 completos y una unidad de mil para la asignación de la numeración a las muestras. Las muestras de sedimentos o suelos fueron numeradas correlativamente, codificándolas con el número de la hoja 1:50.000 seguido de los tres dígitos del número correlativo correspondiente.

2.4. TRABAJOS DE CAMPO

Con la estructura de equipos antes mencionada, dieron comienzo los trabajos de campo para la recogida de muestras en diciembre de 2005. La campaña continuada finalizó en marzo de 2006, tomándose en abril del mismo año las muestras más elevadas de las sierras de la Demanda y Urbión, que no pudieron tomarse con anterioridad por problemas de nieve.

El comienzo de la campaña de campo estuvo precedido por una campaña previa en la que participó de forma conjunta todo el equipo de campo y personal técnico adscrito al Proyecto, a fin de unificar criterios para la campaña general. Se asignaron zonas de trabajo para cada equipo de prospección.

Durante la realización del proyecto se han tomado cuatro tipos de muestras: muestras de sedimentos de corriente, de suelos, de roca y de agua. Para cada uno de estos tipos de muestra se ha empleado la técnica de muestreo más idónea, que se describe en los próximos apartados.



2.4.1. Recogida de muestras de sedimentos de corriente

Una vez definido en campo el punto de muestreo, se ha procedido a su toma en el lecho vivo del arroyo. Cuando no ha sido posible por ausencia de sedimentos, se ha tomado en la orilla, en contacto con el agua, en suelos sobre aluviones o en suelos de fondo de valle (indicándolo siempre en la ficha correspondiente). La muestra ha sido compuesta y procede de la agregación de al menos 5 incrementos recogidos a lo largo de unos 100 m del arroyo.

Siempre que ha sido posible la muestra se ha tomado en el punto designado previamente, evitándose siempre el muestreo en puntos de contaminación evidente, así como aguas abajo de pistas, carreteras y edificaciones.

La muestra se ha tomado con la suficiente fracción fina para garantizar la existencia de 200 g de fracción inferior a 80 mallas, evitándose el contenido excesivo en humus.

Se ha realizado el tamizado *in situ* con una criba de 1 mm de paso de malla, tomándose una cantidad suficiente (entre 0,5 y 1 kg, en función de la granulometría aparente) para proporcionar 200 g de fracción inferior a 80 mallas.

El contenido de la muestra ha sido depositado en bolsas de plástico, procediéndose a su decantado y eliminado de agua, para ser transportadas posteriormente hasta los almacenes del proyecto, en Villamediana de Iregua.

Recolectada la muestra, *in situ* ha sido cumplimentada la ficha correspondiente y, en aquellos puntos más representativos, se han tomado fotografías sobre el sedimento muestreado y el contexto morfológico del lugar.

Del lugar de muestreo se ha tomado el posicionamiento del punto medio del tramo muestreado, mediante un GPS. Además se ha situado este punto sobre el plano topográfico a escala 1:25.000, dejando una señalización *in situ* para su verificación. Por motivos ambientales, se ha cuidado que la señalización no sea impactante en el entorno.



Todos los puntos de muestreo tienen sus coordenadas U.T.M., tomadas con GPS, con el fin de que todos los datos estén georreferenciados dentro de una base de datos informatizada.

Se ha comprobado la equivalencia entre las coordenadas del punto situado en el mapa 1:25.000 y las obtenidas con el GPS. En caso de discrepancia ha primado la situación sobre el mapa, registrándose esta incidencia en la correspondiente ficha para una posterior revisión *in situ* por parte del Coordinador de la Campaña.

Finalmente se ha rellenado la ficha de toma de muestra, en la cual se reflejan, convenientemente codificados, los siguientes datos:

- N° de muestra.
- Coordenadas XY U.T.M.
- Cota.
- Tipo (sedimento, suelo, roca, agua).
- Litología del entorno.
- Granulometría.
- Caudal.
- Pendiente.
- Color de la muestra.
- Profundidad, en el caso de suelos.
- Vegetación.
- Cultivos.
- Número de incrementos.
- Rasgos de interés (proximidad a escombreras, vertederos, núcleos urbanos, etc.).
- Observaciones.

Las fichas de campo figuran en el Anexo II de este informe.

En una campaña independiente y por un equipo distinto se tomaron en julio de 2006 un total de 25 (2,5 %) duplicados de campo, para control de la calidad del muestreo.



2.4.2. Recogida de muestras de suelos residuales

Estas muestras se han tomado en aquellas zonas donde no existe una red hidrográfica adecuada para el muestreo de redes de drenaje. La densidad de muestreo ha sido similar a la de los sedimentos en la red de drenaje.

La sistemática seguida es similar a la realizada para la toma de muestras de sedimentos, salvo en lo que se refiere al punto de recolección. Se han tomado muestras del horizonte B del suelo residual. Cuando en el suelo no se han podido reconocer los horizontes o el horizonte B no estaba desarrollado, se recogió material del horizonte C. La toma de la muestra de suelos se realizó en cuatro incrementos en cruz, separados unos 30 m y a una profundidad de 20-30 cm, evitando siempre la toma de materia orgánica. La cantidad de muestra ha sido suficiente para, una vez tamizada a 1 mm, obtener 200 g una cantidad suficiente para proporcionar unos 200 g de fracción inferior a 80 mallas.

El número total de muestras de sedimentos de corriente y suelos residuales recolectadas ha sido de 1.047, cuya localización en la hoja correspondiente del M.T.N. se identifica por los tres primeros dígitos.

2.4.3. Recogida de muestras de roca

Con objeto de conocer el valor de los diferentes fondos geoquímicos existentes en la zona objeto del proyecto, se decidió efectuar una recolección de muestras de las diferentes formaciones geológicas que integran la columna estratigráfica de La Rioja. Este muestreo fue realizado de manera selectiva, sobre los tramos que presentan mejores afloramientos. El número total de muestras recogidas ha sido de 25.

La toma de muestras se realizó sobre afloramiento lo más fresco posible, donde era fácil identificar el litotipo a muestrear. Se evitó tomar muestras con algún tipo de rasgo anómalo en relación a la matriz rocosa común del litotipo (venas accidentales, etc). La



cantidad de muestra tomada en cada punto ha sido de unos 3-4 kg, suficiente para la obtención de una muestra representativa del litotipo.

De todos los puntos muestreados se han tomado sus coordenadas UTM con GPS, con el fin de que todos los datos estén georreferenciados dentro de una base de datos informatizada.

2.4.4. Recogida de muestras de agua

En 15 manantiales seleccionados se han tomado muestras de agua. En cada punto de muestreo se tomaron dos muestras, una para la determinación de mercurio y la otra para la determinación de otros metales.

La muestra para determinación de mercurio se tomó en una botella de Nalgene endurecido de 100 ml de capacidad, añadiéndose 5 ml de disolución de dicromato potásico en ácido nítrico con una concentración de 0,2 g $K_2 Cr_2 O_7$ (Pro análisis, PA quality) en 100 ml de ácido nítrico (calidad superpura).

La muestra para determinación de los restantes metales analizados fue filtrada y conservada en una botella de polietileno de 100 ml de capacidad, añadiéndose 1 ml de ácido nítrico calidad superpura.

Todos los puntos de muestreo tienen sus coordenadas U.T.M., tomadas con GPS.

2.5. PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA SU ENVÍO A LABORATORIO

Las muestras de suelos y sedimentos tomadas en el Proyecto fueron almacenadas en la oficina-almacén instalada en Villamediana de Iregua, donde se realizaron trabajos de control de numeración, secado previo de las muestras y empaquetado. Desde allí fueron trasladadas a los laboratorios del IGME en Peñarroya-Pueblonuevo, donde se realizó la preparación de las muestras para su envío al laboratorio de análisis químico.



En la oficina de Villamediana de Iregua se realizó también el volcado de los datos de GPS y la comprobación de cada punto de muestreo, registro de las coordenadas en la ficha de campo y almacenado de los datos digitales en memoria. Simultáneamente se replanteó el punto de muestreo sobre el mapa topográfico a escala 1:25.000.

La instalación empleada para la preparación de las muestras consta de:

- Sala de recepción.
- Oficina de control.
- Sala de secado y disgregado.
- Sala de tamizado y envasado.

Los medios de equipamiento de la instalación de preparación son:

- Ordenador e impresora.
- Estanterías de secado.
- Molino de ágata.
- Cuatro estufas calentadoras de aire caliente, con una potencia del orden de 2.000 W cada una.
- Cuarteadores.
- Tamizadora mecánica con capacidad para ocho tamices.
- Pequeño compresor que garantiza una presión de chorro de aire de unos 60 g/cm².
- Separador mediante líquidos densos.
- Extractor de aire.

La metodología operativa en la preparación de las muestras ha sido la siguiente:

Las muestras han sido recepcionadas en la sala correspondiente, con la consiguiente revisión de la calidad de la bolsa, datos de la ficha y cantidad y calidad del contenido.

Situadas en bandejas/estanterías son secadas mediante ventilador de aire caliente a temperatura controlada entre 25-28°C. Temperaturas superiores pueden ocasionar,



eventualmente, una pérdida de mercurio metal. Posteriormente son disgregadas, cuarteadas y tamizadas a una granulometría inferior a 80 mallas.

Durante la preparación de las muestras se han obtenido duplicados para control analítico, tras el consiguiente cuarteo. Las muestras duplicadas y su equivalencia aparecen en el Anexo III. Control de calidad. En total se prepararon 25 duplicados, que fueron enviados a los laboratorios de análisis.

Simultáneamente se ha procedido a la preparación de una “réplica” de la muestra enviada al laboratorio, con la misma numeración, para su conservación por la Dirección General de Política Territorial.

Las muestras se han empaquetado en envases de plástico cilíndricos de 3 cm de diámetro y 7 cm de altura, con tapa, con un mínimo de 50 g de la fracción granulométrica escogida, tanto de la muestra para envío al laboratorio como de la de réplica. Los envases van con etiquetas que permiten su identificación y registro.

La preparación de las muestras de sedimentos y suelos se ha realizado con posterioridad a la campaña de recogida de muestras.

Las muestras de roca recolectadas en esta investigación han sido, en primer lugar trituradas en la machacadora de mandíbulas, para obtener una muestra a tamaño inferior a 1 mm.

Posteriormente se ha procedido al cuarteo de esta muestra para obtener una fracción de 100 g, la cual se ha pasado por un molino de ágata para obtener una granulometría inferior a 80 mallas. Mediante un nuevo cuarteo se obtuvieron dos muestras idénticas, la primera para enviar al laboratorio y la segunda para quedar archivada como réplica.



2.6. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS

2.6.1. Análisis de muestras de sedimentos, suelos y rocas

Las muestras de sedimentos, suelos y rocas, una vez preparadas y empaquetadas en los envases adecuados y perfectamente identificadas, se han enviado, junto con un listado donde se refleja claramente la fecha y contenido del envío, al laboratorio para su análisis. El laboratorio que ha realizado todos los análisis ha sido ACTLABS, de Ontario (Canadá).

ACTLABS cuenta con los siguientes estándares internacionales para el control interno del laboratorio:

- USGS GXR-1,2,4,6.
- SDC-1.
- DNC-1.
- SCO-1.
- G-2.

ACTLABS aplica un programa de control de calidad y de seguridad del proceso, basado en la norma ISO-17025, de la que posee certificación y en base a la cual se desarrollan las actuales auditorías.

Los métodos analíticos han sido los siguientes:

- Activación Neutrónica (INAA): Método no destructivo de medida de contenidos totales. Implica el bombardeo de la muestra con neutrones en un reactor nuclear. Los contenidos se obtienen midiendo la radiación gamma emitida por la muestra.
- TD/ICP o TD/ICPMS: El ataque ácido total (TD), o casi total, se hace por vía tetra-ácido sobre una parte de la muestra (1 g), mediante una combinación secuencial de ataques con ácidos nítrico, perclórico, fluorhídrico y clorhídrico.



La muestra líquida es vaporizada e ionizada mediante un plasma de acoplamiento inductivo (ICP). Los iones, una vez formados, son analizados mediante espectroscopia de emisión óptica (ICP/OES) o espectrometría de masas (ICP/MS).

En total se han determinado los 49 elementos siguientes:

Au, As, Ba, Ca, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, Ir, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sn, Ta, Th, U, W, Yb, Ag, Al, Be, Bi, Cd, Cu, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sr, Tb, Ti, V, Y, Zn, S.

Los límites de detección de cada uno de los elementos a analizar y el método analítico se reflejan en el cuadro 2.1 siguiente:

CUADRO 2.1. LÍMITES DE DETECCIÓN Y MÉTODO ANALÍTICO								
El.	Lim. dt.	Método analítico	El.	Lim. dt.	Método analítico	El.	Lim. dt.	Método analítico
Au	2 ppb	INAA	Hf	1 ppm	INAA	Se	3 ppm	TD/ICPMS
As	0.5 ppm	INAA	Hg	1 ppm	INAA	Sm	0.1 ppm	INAA
Ba	50 ppm	INAA	Ir	5 ppb	INAA	Sn	0.01%	TD/ICP
Br	0.5 ppm	INAA	La	0.5 ppm	INAA	Ta	0.5 ppm	INAA
Ce	3 ppm	INAA	Lu	0.05 ppm	INAA	Th	0.2 ppm	INAA
Co	1 ppm	TD/ICP	Na	0.01%	INAA	Tb	0.5 ppm	INAA
Cr	2 ppm	TD/ICP	Nd	5 ppm	INAA	U	0.5 ppm	INAA
Cs	1 ppm	INAA	Rb	15 ppm	TD/ICPMS	W	1 ppm	INAA
Eu	0.2 ppm	INAA	Sb	0,1 ppm	INAA	Yb	0.2 ppm	INAA
Fe	0.01 %	TD/ICP	Sc	0,1 ppm	INAA	S	100 ppm	TD/ICP
Ag	0.3 ppm	TD/ICP	K	0.01%	TD/ICP	Pb	5 ppm	TD/ICP
Al	0.01%	TD/ICP	Mg	0.1%	TD/ICP	Sr	1 ppm	TD/ICP
Be	1 ppm	TD/ICP	Mn	1 ppm	TD/ICP	Ti	0.01%	TD/ICP
Bi	2 ppm	TD/ICPMS	Mo	1 ppm	TD/ICP	V	2 ppm	TD/ICP
Ca	0.01%	TD/ICPMS	Ni	1 ppm	TD/ICP	Y	1 ppm	INAA
Cd	0.3 ppm	TD/ICP	P	0.001%	TD/ICP	Zn	1 ppm	TD/ICPMS
Cu	1 ppm	TD/ICP						

INAA: Activación Neutrónica

TD/ICP o ICPMS: Digestión total (4 ácidos). ICP/OES o ICP/MS



En total, se han analizado 1.122 muestras. De ellas, 1.047 corresponden a la campaña de muestreo en redes de drenaje y suelos realizada; 25 son muestras de litogeoquímica; 25 corresponden a los duplicados de campo tomados y 25 son duplicados de laboratorio.

2.6.2. Análisis de muestras de agua

Para evitar un dilatado período de tiempo de almacenamiento y envío se decidió realizar los análisis de aguas en laboratorio de España.

Las quince muestras de agua tomadas se han analizado en el laboratorio del Instituto Geológico y Minero de España, en Tres Cantos (Madrid). Las muestras para mercurio fueron analizadas por espectrofotometría de absorción atómica y las muestras de los restantes metales analizados (Ag, Ba, Co, Ni, Sb, V, Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) se analizaron por espectrometría de emisión atómica con una fuente de plasma acoplada (ICP/AES).

2.7. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Una de las actividades realizadas ha sido la informatización de todos los datos resultantes de la realización de la campaña geoquímica, con objeto de facilitar el tratamiento de la información.

En el tratamiento de la información generada a lo largo de la realización del trabajo se han considerado los distintos tipos de datos que han sido manejados, en particular; datos alfanuméricos y datos gráficos. Debido a las características de los datos (datos geográficos) se planificó su integración en un sistema que permitiese la captura, gestión, manipulación y análisis de la información cartográfica, tanto en lo que se refiere a su expresión gráfica como a sus datos alfanuméricos.

Seguidamente se analizaron las características metodológicas, desde el punto de vista de la informatización de todos los datos, más adecuadas para su utilización en



este trabajo, sin perjuicio de las posibles modificaciones que pudieran surgir en función de las necesidades en cada momento.

Teniendo en cuenta las características del trabajo, en el cual se han utilizado procesamientos estadísticos de la información analítica y la representación gráfica de los resultados, se decidió la generación de unas hojas de cálculo con los datos del muestreo y los análisis, así como la integración de estas tablas con la información gráfica (topografía) en un SIG (ArcGis).

2.7.1. Revisión de la información y corrección de errores

Durante la realización del trabajo se trataron los siguientes tipos de datos:

- *Datos gráficos superficiales*: zonas industriales, zonas urbanas,...
- *Datos gráficos vectoriales*: red de drenaje, vías de comunicación, límite de la zona,...
- *Datos gráficos puntuales*: muestras, indicios mineros.
- *Datos alfanuméricos*: características de los puntos de muestreo, analítica,...

La captura de la información se realizó básicamente mediante dos tipos de procesos en función de las características de los tipos de datos a introducir: digitalización/escaneado de los datos gráficos y carga en hojas de cálculo para los alfanuméricos.

Previamente a la carga de la información cartográfica, ésta fue revisada y depurada de errores, adecuándola a una serie de condiciones sin el cumplimiento de las cuales no podría realizarse la explotación de las bases de datos y el SIG.

La posición de los puntos de muestreo, obtenida de las coordenadas del GPS, fue convertida a ficheros gráficos (ArcGis) y plotada sobre mapas.



2.7.2. Carga y preparación de la información

Entre las características específicas que cumple la información cargada al SIG, para una correcta explotación, se incluyen las siguientes:

- Geocontinuidad de la información para todo el territorio.
- Sistema de referencia respecto a coordenadas únicas para todo el territorio (U.T.M.).
- Denominación de los elementos superficiales, lineales y puntuales mediante códigos que permiten establecer correspondencias.
- Representación fidedigna de las características del original, no conteniendo puntos innecesarios.
- En el caso de nodos intermedios deberá existir continuidad analítica entre los tramos en que se descompone la línea original.
- Las entidades cartográficas superficiales se describen por un punto interior único, de tal forma se puede establecer relaciones topológicas entre las líneas y los polígonos definidos por ellas.

Se han mantenido las siguientes capas:

- Hidrografía: ríos, arroyos, pantanos, etc.
- Vías de comunicación.
- Núcleos de población.
- Límites de hojas 1:50.000.
- Líneas de coordenadas UTM.

La información obtenida de los trabajos de campo, coordenadas y características de los puntos de muestreo se incluyó en ficheros tabulares y seguidamente se procedió al cruce de tablas para comprobar la correspondencia entre puntos tomados con GPS y registros obtenidos de las fichas de campo. Mediante esta comprobación se detectaron algunos errores, tanto propios del sistema de medida (GPS) como de la mala manipulación de los equipos; no obstante éstos fueron escasos y fácilmente subsanables.



Los datos analíticos, que se recibieron en formato digital, fueron almacenados en el sistema una vez realizada una primera comprobación de su coincidencia con los listados oficiales, que se recibieron en papel. Posteriormente se realizaron los cruces de tablas de muestras de campo con valores analíticos para comprobar la correspondencia entre ambas listas, donde se detectaron algunos cambios debidos a errores en la asignación del número de la muestra. Todos los errores de asignación de los análisis han sido subsanados tanto en la base de datos, como en los mapas y también en los listados originales de laboratorio.

Las fotografías digitales de campo se han archivado como ficheros “raster” en formato JPG y grabadas en un CD.

2.7.3. Generación de la base de datos

En las tablas se han incluido todos aquellos campos que definen las características de los elementos a los que están asociados y permiten la edición digital de la ficha de campo y los resultados analíticos. Se han almacenado las siguientes tablas principales o tablas de datos (contienen la información básica del proyecto):

- Tabla de Muestras (características del punto de muestreo).
- Tabla de Muestras de Roca.
- Tabla de Análisis.

También se han almacenado otras tablas que contienen la información necesaria para decodificar los campos de las tablas principales:

- Tabla de Hoja.
- Tabla de Tipo de Muestra.
- Tabla de Litología.
- Tabla de Granulometría.
- Tabla de Caudal.
- Tabla de Pendiente.
- Tabla de Tipo de Cultivo.



La tabla básica de este estudio es la “*Tabla de Características del Punto de Muestreo*” que contiene la siguiente información:

- Número de Muestra.
- Clase de muestra.
- Número de la hoja del M.T.N. a escala 1:50.000.
- Coordenada X (UTM).
- Coordenada Y (UTM).
- Altitud (m.s.n.m.).
- Fecha.
- Prospector.
- Empresa.
- Tipo de muestra (0 a 7).
- Fondo litológico (0 a 6).
- Granulometría de la muestra.
- Caudal (en el momento de la recogida).
- Pendiente del arroyo/suelo.
- Color de la muestra.
- Profundidad de la recogida.
- Cobertura vegetal.
- Cultivo.
- Incrementos de la recogida.
- Rasgos de interés (contaminación) y observaciones.

Estas tablas han sido incorporadas a un Sistema de Información Geográfica, donde la información alfanumérica está enlazada con la información gráfica y se establecen entre ellas relaciones de tipo relacional, en las que los atributos de las tablas se asocian directamente a sus elementos o entidades, de tal forma que se establecen relaciones unívocas entre un elemento gráfico y sus atributos en las correspondientes tablas.

De esta forma, cada uno de los elementos gráficos susceptible de análisis y tratamiento dispone de una base de datos asociada que contiene todos aquellos datos



relativos al elemento de que se trata y permite su identificación, clasificación y agrupación.

Los datos se han introducido en un Sistema de Información Geográfica basado en el software de Arc-Gis. Esta estructura permitirá la consulta y análisis gráfico de la totalidad de la información generada durante el proyecto.

2.8. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS GEOQUÍMICOS

El punto de partida para el tratamiento estadístico y gráfico de los datos geoquímicos es la constitución de un fichero de base que reúne los datos numéricos siguientes:

- N° identificador de la muestra.
- Coordenadas X e Y.
- Variables geoquímicas.
- Atributos del punto de muestreo.

Los tratamientos estadístico y gráfico se han llevado en paralelo y se han estructurado en tres fases:

- Análisis y tratamiento univariante.
- Análisis y tratamiento bivariante.
- Análisis y tratamiento multivariante.

El tratamiento estadístico univariante incluye el cálculo de los parámetros estadísticos descriptivos de las poblaciones elemento a elemento y los gráficos descriptivos de distribución de los contenidos de cada elemento, por medio de histogramas y curvas de distribución o por medio de técnicas de análisis experimental de datos (EDA) como los *boxplots*. El tratamiento gráfico consiste en la representación de las distribuciones geográficas de los contenidos elemento a elemento, sea puntualmente o por masas de colores separadas por líneas de isovalores.



El tratamiento estadístico bivariante consiste en el análisis de relaciones entre elementos dos a dos, mediante el cálculo de coeficientes de correlación binaria y por diagramas binarios con expresión de rectas o curvas de regresión.

Mediante el tratamiento estadístico multivariante se analizan las relaciones subyacentes entre las distribuciones de todos los elementos analizados, reduciendo la información aportada por todos ellos a un número más pequeño de variables que pueden explicar de una manera más clara el comportamiento de los elementos y su variabilidad. Comprende el análisis de componentes principales y el *cluster analysis*.

El tratamiento gráfico multivariante ha consistido en la representación de la distribución geográfica de los factores *score* extraídos del análisis de los componentes principales.

Para este tratamiento, tanto gráfico como numérico, se ha empleado el módulo *Statistics II* del programa VULCAN 3D y ARCGIS 9 para el tratamiento gráfico. Se han empleado además programas convencionales de tratamiento estadístico y gráfico (Statgraphics, Surfer,...).

2.9. INTERPRETACIÓN

La interpretación de los datos ha consistido en relacionar las concentraciones geoquímicas por elementos, sus asociaciones, sus distribuciones y variabilidad con la información geológica, ambiental y metalogenética existente; mediante la superposición e integración de representaciones gráficas geoquímicas y las bases topográficas que contienen las estructuras geológicas, las mineralizaciones y los posibles focos de contaminación industrial o urbana. Para la interpretación se ha tenido en cuenta la información proporcionada por la litogeoquímica.

A partir de la definición de los fondos geoquímicos de cada una de las litologías diferenciadas se han delimitado anomalías respecto a esos fondos, susceptibles de una investigación posterior.



Finalmente, se han realizado mapas de diagnóstico ambiental a escala regional, donde se representan las anomalías de elementos potencialmente peligrosos (As, Cd, Pb, Cr,...).

Los datos se han introducido en un Sistema de Información Geográfica con una estructura que permite consultar y analizar gráficamente toda la información generada en el proyecto.

2.10. INFORME FINAL

Con la información obtenida e interpretada se ha elaborado la presente Memoria, que recoge la totalidad de los trabajos realizados, así como las conclusiones obtenidas en relación con la caracterización geoquímica del territorio de La Rioja.

Acompaña a esta Memoria documentación gráfica e informática.

