



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA



Recursos Hídricos y Geología Ambiental
Grupo de Investigación RNM189

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PRESENCIA DE
ISÓTOPOS RADIOACTIVOS DE CARÁCTER NATURAL
EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DETECTADOS EN EL
AGUA DE ABASTECIMIENTO URBANO DE
DETERMINADOS MUNICIPIOS DE LA PROVINCIA DE
ALMERÍA**

Fco. Tomás Campoy Jiménez

Tutor entidad: F. JAVIER MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

Tutor UAL: JUAN GISBERT GALLEGO

Curso: 2012/13

**Trabajo de Prácticas del Máster “Agua y Medio Ambiente en
áreas semiáridas (AQUARID)”.**

Diputación de Almería

Departamento de Hidrogeología y Química Analítica

ÍNDICE

1. Introducción y objetivos	1
1.1 Breve repaso de la legislación sobre el agua de consumo humano.....	3
1.2 Parámetros indicadores de radioactividad en el agua de consumo humano y protocolo para el control de la misma.....	5
1.3 Radionucleidos naturales presentes en las aguas subterráneas.....	8
1.4 Zona de estudio.....	9
2. Metodología	13
2.1 Tratamiento de la información.....	15
2.2 Caracterización hidrogeoquímica de las muestras.....	15
2.3 Tratamiento estadístico de la información.....	16
2.4 Representación geográfica de la información.....	17
2.5 Estudio de los radionucleidos específicos.....	17
3. Revisión bibliográfica	19
4. Resultados	26
4.1 Caracterización de las facies hidrogeoquímica de las muestras.....	27
4.2 Análisis estadístico de la composición química de las muestras.	28
4.2.1 ACP y clúster de todos los elementos entre sí.....	30
4.2.2 ACP y clúster de los elementos mayoritarios.....	31
4.2.3 ACP y clúster de los elementos minoritarios.....	31
4.2.4 ACP y clúster de todos los elementos traza.....	32
4.2.5 ACP y clúster de las muestras respecto del pH y la CE.....	32
4.2.6 ACP y clúster de las muestras de la zona de la Sierra de Los Filabres.....	32

4.2.7 ACP y clúster de las muestras de la zona de la cuenca del Río Andarax.....	34
4.2.8 ACP y clúster de las muestras con predominio de facies bicarbonatadas.....	35
4.2.9 ACP y clúster de las muestras con predominio de facies sulfatadas.....	36
4.2.10 ACP y clúster de las muestras con predominio de facies cloruradas.....	37
4.2.11 Análisis de las muestras con radionucleidos específicos.....	37
4.2.11.1 ACP y clúster de las muestras con radionucleidos.....	38
5. Conclusiones.....	42
6. Agradecimientos.....	46
7. Referencias.....	48
8. Abreviaturas.....	54
9. Anexos.....	56
Anexo1. Introducción.....	57
Anexo 2. Metodología.....	62
Anexo 3. Resultados.....	70

1. Introducción y objetivos.

1. Introducción y objetivos.

Un gran número de las poblaciones de la provincia de Almería cubren sus necesidades de agua para abastecimiento humano con recursos ligados a aguas subterráneas, procedentes de pozos y sondeos o en algunos casos de manantiales. La legislación europea y española establece la obligatoriedad de las administraciones de velar por la salud de las personas de tal forma que el agua para el abastecimiento de consumo humano debe de cumplir unos criterios mínimos de calidad. En España el RD 140/2003 de 7 de febrero fija los parámetros y valores paramétricos a cumplir en el lugar donde se pone el agua de consumo humano a disposición del consumidor. Dichos valores paramétricos se basan principalmente en las recomendaciones de la OMS. Los responsables de garantizar que el agua suministrada es apta para el consumo humano son los municipios. Para cumplir dicha obligación la ley dispone que deban de realizarse controles periódicos de autocontrol en el agua que se suministra. De los distintos parámetros que se deben de analizar uno de ellos es específicamente su contenido radiológico. En el caso de la provincia de Almería estos análisis ha puesto de manifiesto la existencia de una serie de municipios con contenidos anómalamente elevados de radioactividad por encima de los valores paramétricos que establece la ley.

En líneas generales los núcleos que presentan problemas de radioactividad se concentran en dos grandes zonas: los municipios enclavados en la Sierra de Los Filabres, y aquellos que se asientan en torno a la cuenca del río Andarax en su límite con el sector nororiental de la Sierra de Gádor.

El presente trabajo tiene como objetivo el estudio de las captaciones de agua subterránea de la provincia de Almería con problemas de radioactividad, para a través del análisis de su composición química y de sus índices de radioactividad intentar arrojar algo de luz al problema en cuestión. Para ello se realizará un análisis estadístico de los componentes químicos y radiológicos que nos permita establecer posibles correlaciones entre ellos.

El principal problema al que se enfrentan las administraciones responsables del abastecimiento, a parte del problema implícito de salud que supone, es que los análisis específicos de radionucleidos son muy costosos y con frecuencia los municipios son pequeños y de recursos muy limitados. En última instancia se persigue determinar si existe algún componente químico del agua correlacionado con los elevados índices de radioactividad, de tal forma que nos indique de antemano con una elevada probabilidad de acierto la existencia de radionucleidos y con ello, mediante un análisis más asequible para dichos

organismos descartar problemas de salud por radioactividad en dichas aguas. Así mismo se realizará una pequeña revisión de la literatura científica en busca de artículos que aborden una problemática similar a la que se presenta en Almería y nos ayude y oriente a comprender y abordar mejor el tema que nos ocupa.

1.1 Breve repaso de la legislación sobre el agua de consumo humano.

El 3 de noviembre de 1998 el Consejo de la Unión Europea publicó la directiva 98/83/CE. Dicha directiva tiene por objeto proteger la salud de las personas de los efectos adversos derivados de cualquier tipo de contaminación de las aguas destinadas al consumo humano, garantizando su salubridad y limpieza. La transposición de dicha directiva al ordenamiento jurídico español se ve recogida en el RD 140/2003 de 7 de febrero y su última modificación y texto consolidado de fecha 27 de febrero de 2013, en la cual se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

El RD 140/2003 deroga al RD 1138/1990 de 14 de septiembre que establecía la reglamentación técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público e incorporaba la normativa comunitaria en dicha materia, la Directiva 80/778/CEE del 15 de Julio. No obstante en dicha directiva no se establecía que debieran de realizarse controles algunos del contenido de radionucleidos en el agua. En el RD 1138/1990 por el contrario si se establecía que parámetros en materia de radioactividad debían de cumplir las aguas de consumo humano. En el anexo G del artículo 3.1.6 del título II se describen los caracteres relativos a la radioactividad (Tabla.1). No establecía la metodología analítica de referencia que debía de aplicarse para el cálculo de la radioactividad en el agua, ni se fijaban los límites de los valores paramétricos. A pesar de que el RD 1138/1990 ya establecía la obligación del control radiológico en las aguas para consumo humano, las analíticas periódicas de autocontrol de gran parte de las muestras no incluyeron las medidas de los niveles de radioactividad, incluso en años muy próximos al 2008.

La ley actual en vigor que establece los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano y fija los parámetros y valores paramétricos a cumplir donde se pone el agua de consumo humano a disposición del consumidor es el RD 140/2003 de 7 de febrero. Dichos valores se basan principalmente en las recomendaciones de la OMS, aplicándose en algunos

ANEXO G					
Caracteres relativos a radiactividad					
	Parámetros	Expresión de los resultados	Nivel guía	Concentración máxima admisible	Observaciones
63	Radiactividad alfa global	Bequerelios/l	0,1 *	-	-
64	Radiactividad beta global	Bequerelios/l	1 *	-	-

* Con estos valores no se superan las dosis equivalentes a que se refiere el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones.

Tabla 1. Tabla del anexo G del Art. 3.1.6 del título II de RD1138/1990

casos el principio de precaución con el fin de garantizar un alto nivel de protección de la salud de la población. Dichas recomendaciones se plasman en la edición periódica de unas guías para la calidad del agua potable. Las dos primeras guías son la de 1983-1984 y la de 1993-1997 y los apéndices a la 2ª edición publicados en 1998,1999 y 2002. En el año 2000 se acuerda la elaboración de la tercera edición que vio la luz en el 2004 y es la guía para la calidad del agua potable en vigor (http://www.who.int/water_sanitation_health/) En su introducción establece que su finalidad principal es la protección de la salud pública y dice:

“Las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua de consumo tienen una gran repercusión en la salud de las personas. Las medidas destinadas a mejorar la calidad del agua de consumo proporcionan beneficios significativos para la salud”.

Con motivo del cumplimiento del RD 140/2003 los ayuntamientos u organismos gestores responsables del abastecimiento del agua para el consumo humano de los distintos núcleos de población efectúan una serie de análisis periódicos en el agua que suministran. En el caso de la provincia de Almería, merced a dichos controles se ha detectado la existencia de problemas con determinados parámetros de los analizados en muestras del agua. Entre los parámetros que arrojaron valores negativos para el consumo se detectaron índices anormalmente elevados de radioactividad.

En mayo de 2003 se realiza un estudio promovido por la Diputación de Almería con la colaboración de Cajamar, denominado “Investigación de las Características Hidrogeológicas e Hidrodinámicas de la provincia de Almería” realizado por el Instituto de Geología Medio-Ambiental de la Academia de

Ciencias Rusa y de la Universidad de San Petersburgo, con la colaboración de las empresas “Centro de Investigación de Hidrología Medio Ambiental”, “Expresshydrotech S.P.C.” y Reigest, S.A. En este estudio considerado pionero ya se informaba de la existencia de niveles altos de concentración de radón. En él se indicaba que dicha radioactividad (solo corresponde a una parte de alfa radiactividad, no toda) estaba condicionada por los elementos genéticos de la desintegración del uranio natural. Ello se confirmaba por la correlación encontrada entre las concentraciones de uranio y las concentraciones de radón 222.

Con posterioridad las analíticas periódicas que están obligados a efectuar los organismos gestores del agua de abastecimiento humano venían a confirmar la existencia de tales niveles anómalos de radiactividad.

1.2 Parámetros indicadores de radioactividad en el agua de consumo humano y protocolo para el control de la misma.

La Dirección General de Salud Pública del Ministerio de Sanidad y Consumo ha publicado la metodología para la determinación de los parámetros indicadores de la radioactividad del agua, de tal forma que se dispone la necesidad de que se determinen los parámetros de vigilancia de la misma en aquellos abastecimientos en los que se sospeche que los niveles en el agua para consumo humano puedan entrañar un riesgo para la salud de la población abastecida. Los parámetros y valores paramétricos aparecen reflejados en la parte D del anexo I del RD 140/2003 de 27 de febrero y son los que muestran en la tabla 2

Parámetro	valor paramétrico	Notas
50. Dosis indicativa total	0,10 mSv/año	1
51. Tritio	100 Bq/l	
52. Actividad α total	0,1 Bq/l	
53. Actividad β total	1 Bq/l	2

Notas:

(1) Excluidos el tritio, el K^{40} , el Rn y los productos de desintegración del Rn.

(2) Excluidos el K^{40} y el tritio.

Tabla. 2 Parámetros y valores paramétricos radiactivos según parte D del anexo I del RD 140/2003

La DIT o dosis indicativa total es la dosis efectiva comprometida anual por ingestión debida a todos los radionucleidos cuya presencia en el suministro de agua haya sido detectada, tanto de origen natural como artificial excluidos el tritio, potasio-40, radón y los productos de desintegración del radón.

La actividad α y β total miden la cantidad de partículas radioactivas presente en la muestra de agua que son emitidas en el proceso de desintegración de los radionucleidos contenidos en ella. La actividad β resto se calcula como la diferencia entre el índice de actividad β total y el índice de actividad β correspondiente al K-40.

Hay dos principios generales a seguir:

1. Cuando no se puede probar que la dosis indicativa total (DIT) se mantiene inferior al valor paramétrico establecido en el RD 140/2003 (0,1 mSv/año), deberá controlarse la DIT en el agua de consumo humano si hay sospecha de una fuente de radiactividad natural o artificial elevada en el recurso hídrico que se utiliza para la producción del agua de consumo humano de dicho abastecimiento.

2. Se deberá controlar adicionalmente el contenido en tritio si hay una fuente de tritio en el recurso hídrico que se use para la producción de agua de consumo humano para dicho abastecimiento y no puede ser probado.

El control de la DIT se realiza utilizando la medida de la concentración de actividad alfa total y de actividad beta total (α_T , β_T). Una concentración de tritio superior a 100 Bq/l puede indicar la presencia de otros radionucleidos artificiales, por lo que se debe medir en la misma muestra de agua el Tr y la DIT. El protocolo aplicado para el control de la radioactividad en el agua de consumo humano puede verse en el esquema de la figura 1. Es importante tener en consideración el hecho de que cuando el valor de la DIT es igual o superior a 0,1mSv/año, solo se considerará que supera el valor paramétrico establecido en le RD 140/2003 si los radionucleidos están presentes de forma persistente en concentraciones de actividad similares durante todo un año. Por lo tanto será necesario repetir el muestreo de modo que se garantice que los valores medidos son representativos con respecto a una concentración de actividad media correspondiente a un año completo (1 muestra por mes, como mínimo). Si el muestreo representativo indica que se ha superado el valor paramétrico de la DIT, o no se ha realizado análisis específicos de radionucleidos y cálculo de la DIT, el Gestor lo notificará a la Autoridad Sanitaria y se adoptarán las medidas específicas correspondientes.

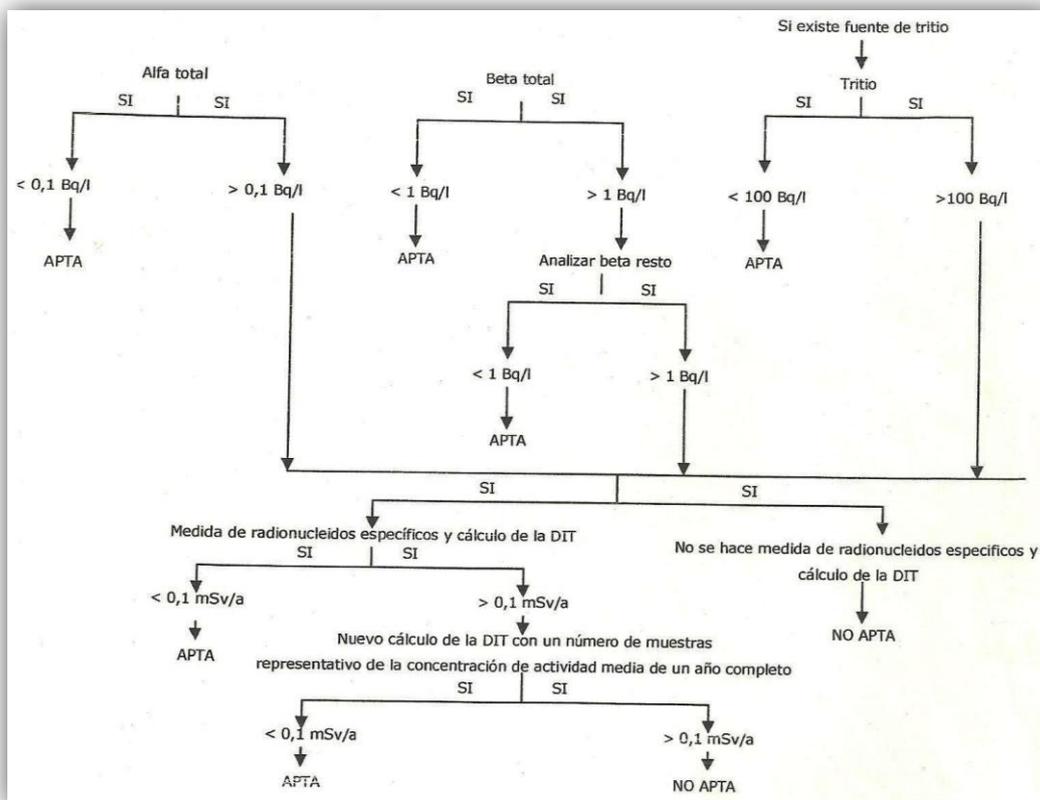


Fig. 1. Esquema de control de la radiactividad.

El protocolo se aplica de la manera siguiente:

1. Si el cálculo da $\alpha_T < 0,1 \text{ Bq/l}$ ó la β_T es $> 1 \text{ Bq/l}$, el agua es apta. Sin embargo basta que alguno de los dos índices supere su valor paramétrico para que el agua sea considerada no apta y con ello se pasa a la siguiente fase de actuación.
2. Se calcula la β_R . Si la β_R es $< 1 \text{ Bq/l}$ el agua es apta (siempre y cuando la $\alpha_T < 0,1 \text{ Bq/l}$), pero si la β_R es $> 1 \text{ Bq/l}$ la muestra no es apta.
3. Se pasa a realizar analíticas específicas de radionucleidos y se le calcula la DIT. Si ello no se realiza el agua es considerada como no apta. Si la $DIT < 0,1 \text{ mSv/a}$ el agua es apta, si es $> 0,1 \text{ mSv/a}$ no es apta, y se pasa a una nueva fase de actuación.
4. Se realiza el cálculo de la DIT como mínimo una vez al mes, y al final del año se realiza la media. Si esa media arroja un valor de la $DIT < 0,1 \text{ mSv/a}$ el agua definitivamente se considera apta. En caso contrario es dada como no apta y comunicado a la autoridad sanitaria competente.

El que a una muestra de agua se tenga únicamente la obligación de realizarse una analítica de su actividad alfa y beta total, o por el contrario sea necesario realizársele analíticas de radionucleidos específicas para el cálculo de la DIT hay por encima de todo un aspecto de gran trascendencia económica: la primera supone un coste aproximado de 186 euros, mientras que la segunda supone un coste aproximado de 2300 euros, de forma que si al final hay que realizársele 12 analíticas al año, el coste se eleva a 27.588 euros, lo que para un pequeño municipio supone una carga demasiado gravosa.

1.3 Radionucleidos naturales presentes en las aguas subterráneas.

La radioactividad natural presente en las aguas subterráneas procede principalmente de la disolución de minerales que contienen isótopos radioactivos que forman parte de los distintos materiales que constituyen los acuíferos. En el medio subterráneo la actividad radioactiva procede de tres grandes series radioactivas naturales: U-238, Th-232 y U-235, siendo las dos primeras las más comunes, las cuales al desintegrarse emiten partículas α , β y radiación- γ dando lugar a la creación de un radionucleido nuevo. Cada serie después de ir pasando por varios miembros inestables, cada uno con una vida media más corta que su antecesor, termina dando lugar a un isótopo estable del Pb. En la Fig. 1 del anexo 1 pueden verse las series completas del U-238, Th-232 y U-235, en la cual se muestra a la vez sus vidas medias y la partícula radioactiva que emiten. Como puede apreciarse los radioisótopos más comunes en el medio subterráneo son el U-238, U-234, Ra-226, Rn-222 y Ra-228 todos emisores de partículas α , a excepción del Ra-228 que emite partículas β . La principal fuente de emisión de R- γ es el K-40.

La cantidad total de radioisótopos presentes en el agua subterránea dependerá no solo del contenido en minerales radioactivos de las rocas y sedimentos que constituyen el medio acuífero, sino también de sus propiedades físico-químicas y de los valores de pH-Eh, de tal manera que según varíen estas, la solubilidad de cada mineral y de cada radionucleido en cuestión variará. La solubilidad del radionucleido determinará su movilidad en el medio subterráneo, permitiendo que este migre a otras de zonas del acuífero o por el contrario precipite y se concentre en determinadas zonas. Todo ello va a dar lugar a que los niveles de radioactividad varíen de unas zonas a otras. En la Fig. 2. puede verse a modo de ejemplo el diagrama de estabilidad pH-Eh del U.

En condiciones naturales debe de existir un equilibrio entre las distintas especies de cada radioisótopo y su progenie, de tal manera que de no ser así deberá de estar ocurriendo en el acuífero algún proceso que esté modificando

el equilibrio mencionado como puede ser la existencia de aportes de radioisótopos de otras zonas más alejadas y distantes

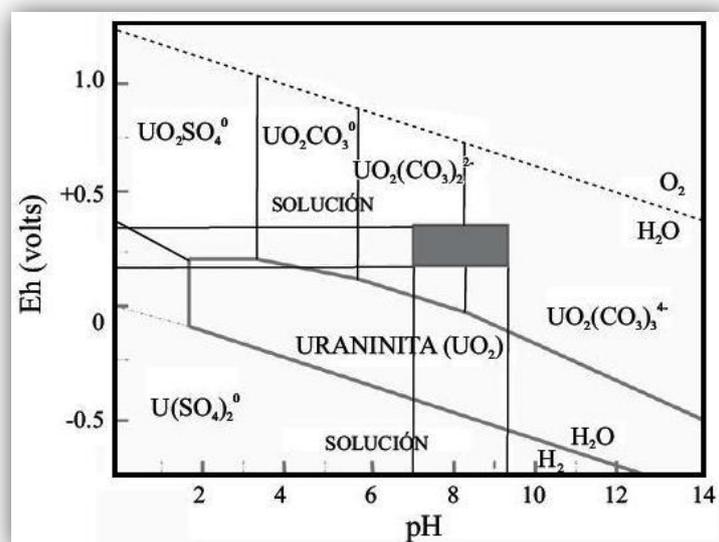


Fig. 2. Diagrama de estabilidad pH-Eh de distintas especies de uranio (según Tosiani et al, 2004)

Es necesario reseñar que cuando se analiza los niveles de radioactividad del agua y su correlación con los distintos radioisótopos y la serie de la cual pertenece hay que tener presente su vida media, ya que los elementos de vida corta desaparecen muy rápidamente, mientras que los elementos de vida más larga serán lo que persistan durante mayor tiempo en el agua y con ellos las partículas radioactivas que emitan. Ello es un factor de gran importancia a la hora de realizar las analíticas específicas ya que puede dar lugar a enriquecimiento o empobrecimiento de radiopartículas y radioactividad α o β respecto de sus concentraciones en el medio subterráneo.

En la Fig. 2 del anexo 1.2 puede verse las recomendaciones del CSN sobre los contenidos o valores de referencia de los distintos radioisótopos en el agua de consumo humano.

1.4 Zona de estudio.

La zona de estudio se encuentra situada en el sureste de España dentro de la provincia de Almería (Fig. 3).

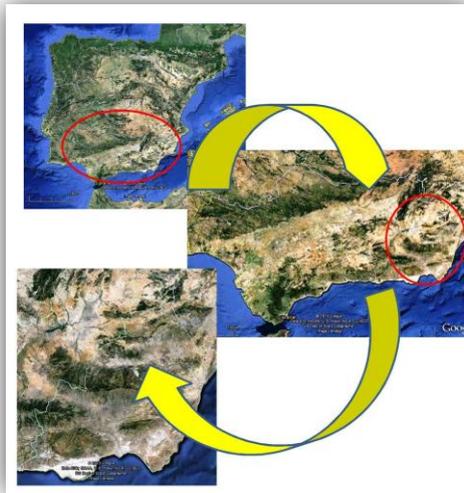


Fig. 3. Situación de la zona de estudio.

Los puntos de agua con problemas de radioactividad se concentran en dos grandes zonas (Fig.3 Anexo 1.3):

1. Captaciones de aguas subterráneas dentro de la denominada Sierra de los Filabres.
2. Captaciones en torno a la cuenca de drenaje del río Andarax limitado por el borde nororiental de la Sierra de Gádor y la cuenca de Tabernas.

Desde el punto de vista geológico el área de estudio se encuentra enclavada en la zona oriental de las denominadas Zonas Internas de las Cordilleras Béticas, formadas durante la orogenia Alpina. La zona oriental de las cordilleras Béticas se dividen en 4 grandes complejos tectónicos resultado de una serie de cabalgamientos o mantos de apilamiento, los cuales son desde el más inferior al más superior: complejo Nevado-Filábride, Complejo Ballabona-Cucharón, complejo Alpujárride y complejo Maláguide. Cada uno de ellos se vio afectado por un grado diferente de metamorfismo, siendo de grado medio en el Nevado-Filábride, de grado bajo en el Alpujárride y Ballabona-Cucharón, mientras el Maláguide no está metamorfizado. Las depresiones postorogénicas que quedaron entre estas grandes estructuras o relieves fueron rellenándose de sedimentos constituyendo las denominadas Cuencas Neógenas de las Cordilleras Béticas.

En la zona de estudio se encuentran expuestos principalmente los materiales pertenecientes a los complejos Nevado-Filábride y Alpujárride, mientras que los

materiales de los complejos Ballabona-Cucharón y Maláguide son más bien escasos. En la figura 4 puede verse el esquema geológico general de la zona.

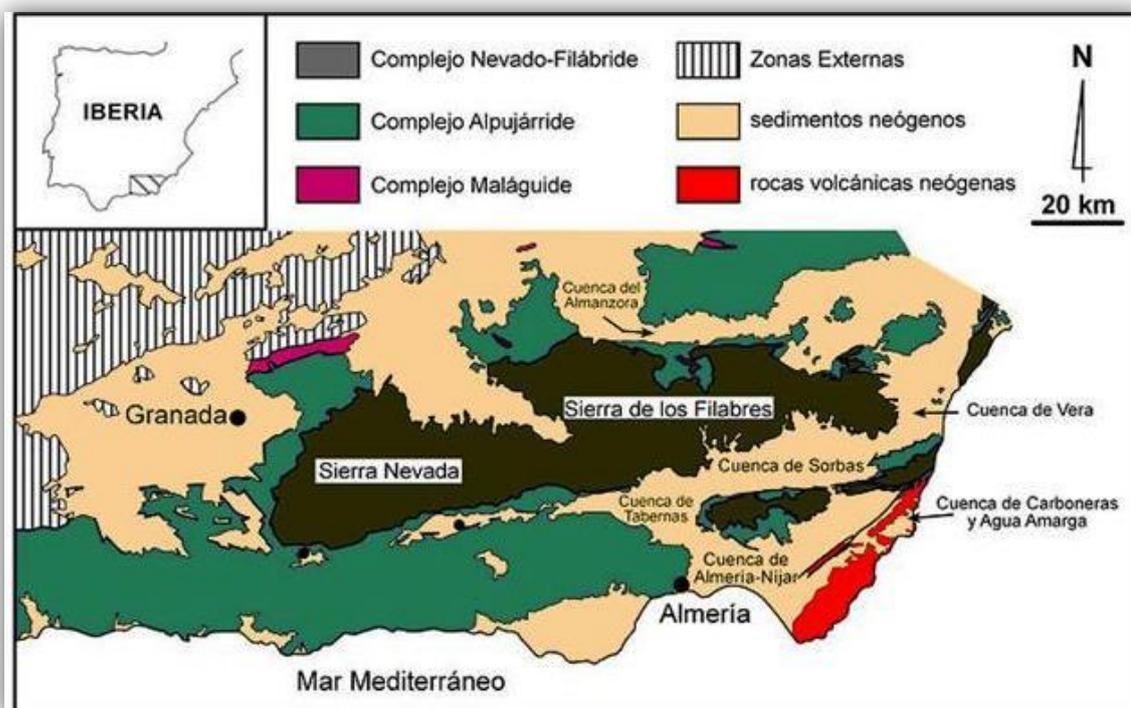


Fig. 4. Esquema geológico-regional de la zona de estudio (extraído de la página web del departamento de estratigrafía de la UGR, www.ugrestratig.es).

El basamento de la Sierra de los Filabres y Sierra Alhamilla lo constituyen los materiales del complejo Nevado-Filábride y se componen esencialmente de micasquistos diversos, cuarcitas, gneises, mármoles, anfibolitas y serpentinas de edad paleozoica. Encima se sitúan los complejos Ballabona-Cucharón y Alpujárride formados por esquistos, cuarcitas, filitas, yesos, brechas tectónicas, calizas y dolomías de edad Permo-Triásico y Trias Medio-Superior.

La sierra de Gádor morfológicamente se asemeja a un domo con una superficie plana central. Sus materiales pertenecen al complejo Alpujárride, y es esencialmente de naturaleza carbonatada: Calizas y dolomías del Trias Medio-Superior. En ella se suelen distinguir dos unidades, el denominado Manto de Felix (Murtas) y el Manto de Gádor (Lújar). Ambos presentan un tramo inferior metapelítico y un tramo superior carbonatado. El Manto de Felix presenta de muro a techo filitas y cuarcitas, calcoesquistos y yesos con intercalaciones metapelíticas, de edad Permo-Trias. Encima se sitúan calizas, dolomías y

mármoles de edad Trias Medio-Superior. El manto de Gádor está constituido en su muro por filitas y cuarcitas con intercalaciones de carbonatos y yesos, de edad Permo-Trias, y a techo calizas y dolomías del Trias Medio-Superior. Suelen contener mineralizaciones de Pb-Zn-Cinabrio y Fe.

Las cuencas neógenas se rellenaron de materiales terciarios postorogénicos de origen marino y por depósitos del cuaternario, con edades que van desde el Mioceno al cuaternario. La cuenca de Tabernas-Sorbas se dispone sobre los complejos Nevado-Filábride y Alpujárride. Están constituidas por una alternancia de conglomerados, arenas, areniscas, calcarenitas, margas y calizas con parches arrecifales e intercalaciones de yesos. En la figura 4 del anexo 1.4 se muestra con detalle el mapa geológico de la zona.

2. Metodología.

2. Metodología.

La información y datos de partida del presente trabajo han sido las analíticas periódicas que bien los ayuntamientos o bien los distintos organismos gestores responsables del abastecimiento del agua para consumo humano tienen la obligación de realizar de forma periódica tal y como establece el R.D. 140/2003. Como ya se ha indicado ha sido gracias a dichas analíticas como han sido detectados la existencia de problemas relacionados con índices de radioactividad cuyos valores paramétricos se encuentran por encima de los establecidos por el mencionado R.D.140/2003.

No cabe duda que la recopilación de las analíticas de todos los puntos de agua subterráneas utilizadas para abastecer a la provincia de Almería supone un trabajo y esfuerzo de cierta magnitud. En este sentido el trabajo de partida y la labor de recopilación de datos se han visto enormemente simplificados al poder disponer de una tabla en formato Excel con las analíticas de los distintos puntos de abastecimiento. Al tratarse de analíticas realizadas para determinar la potabilidad del agua de consumo humano, contienen no solo el análisis de los compuestos químicos inorgánicos presente en el agua, sino también los compuestos químicos orgánicos naturales o artificiales, los parámetros radioactivos, los microbiológicos, las características organolépticas y en algunos casos los productos utilizados para su depuración. Por todo ello, la primera tarea realizada ha sido la confección a partir de dicha tabla de una nueva base de datos en cual se ha realizado un filtrado de aquella información que no iba a ser de utilidad.

Dado que el presente estudio persigue la caracterización del contenido radioactivo natural de aquellos puntos de agua con problemas y su correlación con el resto de componentes químicos naturales presentes en el medio subterráneo, se han eliminado los componentes orgánicos de origen antrópico, los parámetros organolépticos y los productos utilizados en la depuración y tratamiento del agua. Igualmente ha sido añadido a cada punto de agua sus correspondientes coordenadas geográficas. Con todo ello se ha generado una nueva base de datos en formato Excel que contiene la identificación de cada punto mediante su nº de registro, población, nombre de la captación, coordenadas geográficas, nº de muestra y sus correspondientes contenidos de elementos químicos naturales, pH, conductividad e índices de actividad α_T , β_T y β_R . Dicha tabla de trabajo puede verse en la Tabla 1 del anexo 2. Igualmente puede apreciarse en dicha tabla la existencia de un gran número de muestras en el que determinados elementos químicos aparecen con valor igual a cero y reseñado en rojo. Ello no significa que su valor real sea cero, sino que al

tratarse de analíticas destinadas a garantizar su idoneidad para el consumo humano estas se realizan haciendo hincapié en aquellos elementos que son perjudiciales para el ser humano, de tal forma que muchas veces cuando sus valores decaen por debajo del límite del valor paramétrico fijado por la legislación no se obtienen sus valores exactos, sino que tan solo se indica que son menores a dicho valor paramétrico y en la analítica correspondiente el valor de su contenido en la muestra de agua aparece con una expresión del tipo < [valor]. Al no ser un número concreto, sino una expresión, la gran mayoría de los programas informáticos utilizados no admiten este tipo de dato. Para no perder el resto de la información de ese elemento en cuestión cuyo valor si está presente en otras muestras, se ha optado por hacerlo igual a cero, a sabiendas que no es un valor real, o teniendo presente que en ciertos casos sus valores pueden estar por debajo de su límite mínimo de detección. En algunos casos aparecen a cero y en color azul, caso de unas pocas muestras y correspondientes a elementos mayoritarios en los cuales el R.D. 140/2003 no obliga a su análisis ya que su ingesta por el hombre no entraña problemas de salud, caso del bicarbonato, calcio, potasio y magnesio.

2.1 Tratamiento de la información.

Se ha optado por disponer los datos de las analíticas en formato Excel debido a que este permite su manejo con bastante facilidad, pero sobre todo porque permite su importación y trabajo a la mayoría de los programas informáticos de tratamiento estadístico así como a los programas de sistemas de información geográfica (GISs) más utilizados y a diversos programas de análisis hidrogeoquímico.

2.2 Caracterización hidrogeoquímica de las muestras.

La primera labor que se ha realizado con el fin de efectuar el tratamiento de los datos de cada una de las captaciones de aguas subterráneas ha sido su caracterización hidrogeoquímica. En este sentido se ha procedido a la caracterización de las facies hidrogeoquímicas de todos los puntos de agua. Ello ha permitido obtener los diagramas de Piper de todas las muestras de agua. Esta labor se ha efectuado no solo para todas las muestras en el conjunto de toda el área geográfica de estudio sino también para cada una de las dos zonas geográficas representativas del presente trabajo (Fig. 3 Anexo 1.3). El

tratamiento de esta información ha sido realizado con el programa informático DIAGRAMMES 5.8 del laboratorio de hidrogeología de Avignon.

2.3 Tratamiento estadístico de la información.

El tratamiento estadístico utilizado para intentar ver si existe algún tipo de correlación entre los indicadores de actividad radioactiva y los distintos componentes químicos de las muestras de agua ha sido el programa informático STATGRAPHICS PLUS 4.0. Se trata de un programa que permite realizar gran cantidad de análisis y técnicas estadísticas diferentes utilizando un gran volumen de información y realizando cálculos que implican con frecuencia modelos matemáticos complejos de forma simultánea.

Se ha realizado tres variedades de tratamientos.

1. Tratamiento simultáneo de todas las muestras y todos los datos de los componentes químicos a la vez.
2. Tratamiento simultáneo de todas las muestras y datos a la vez, pero estableciendo dos grupos diferentes, correspondientes a las dos grandes zonas geográficas en la que se concentran estas. (Fig. 3 Anexo 1.3).
3. Tratamiento simultáneo de los datos, pero agrupando las muestras en función de las facies hidrogeoquímicas más representativas.

El tipo de tratamiento que se ha realizado, a parte de obtener los estadísticos principales ha sido un análisis multivariante encaminado a detectar posibles correlaciones con los índices α_T y β_T . Este tipo de análisis permite realizar de forma simultánea el estudio de un conjunto de datos multivariantes como es nuestro caso. Con este fin se ha realizado:

1. Análisis de Componentes Principales (ACP). Este nos permite analizar las interrelaciones entre un gran conjunto de variables métricas explicando las interrelaciones en términos de componentes principales, si estas son observables. El programa genera una serie de tablas o informes relativos a dichas correlaciones, así como una serie de gráficos o diagramas. En el trabajo se han obtenido dos tipos de gráficos: SCATTERPLOT o diagramas de dispersión, para ver la proximidad entre las distintas muestras estudiadas y el PLOT OF COMPONENT WEIGHTS o gráfico de peso de los distintos componentes, que nos informa de la proximidad o correlación entre los distintos componentes del conjunto de todas las muestras analizadas.

2. Análisis Cluster, que generan un dendrograma en el que se puede apreciar de forma clara el grado de parentesco entre las distintas muestras. Su objetivo es clasificar las muestras en un número más pequeño de grupos de forma que las observaciones pertenecientes a cada grupo sean muy similares entre sí o diferentes del resto.

Los análisis se han realizado igualmente para los componentes químicos mayoritarios respecto de la α_T y β_T , así como con los componentes minoritarios y elementos traza.

2.4 Representación geográfica de la información.

El tratamiento geográfico de la información con el fin de generar los mapas que permitan la representación de las captaciones de agua subterránea estudiadas y asociar a cada uno de ellas sus correspondientes contenidos hidrogeoquímicos ha sido realizado con el programa ArcGis 10.0.

2.5 Estudio de los radionucleidos específicos.

El grueso del estudio ha sido realizado teniendo en cuenta únicamente las relaciones entre los distintos componentes químicos y la α_T y β_T de las muestras, dado que las analíticas de radionucleidos específicos a las que se ha tenido acceso han sido más bien escasas, fundamentalmente debido al elevado coste que supone su determinación.

El fin último que persigue el presente estudio, es averiguar si hay algún tipo de correlación entre los contenidos de radionucleidos de las muestras con alguno de sus componentes hidrogeoquímicos naturales, para a partir de dicha correlación tener la certeza más amplia posible de que analizando el contenido de dicho elemento obtendremos altas concentraciones de radionucleidos en las mismas ahorrándonos la determinación de los radioisótopos.

A este respecto se ha podido disponer de 9 muestras con sus análisis completo de radionucleidos. No obstante existían algunas más pero han sido descartadas al ser muestras que procedían de depósitos de almacenamiento y distribución en los cuales se mezclaban aguas procedentes distintas captaciones y como consecuencia se falseaban las analíticas respecto de la concentración de radioelementos original. La tabla de trabajo con el contenido hidroquímico de cada muestra puede consultarse en la tabla 2 del anexo 2.2.2.

El análisis de estas se ha llevado a cabo de igual forma que las analíticas anteriormente descritas y se han buscado correlaciones específicas de los radioelementos con el resto de componentes.

La distribución geográfica de estas muestras puede verse en la figura Fig. 2 Anexo 2.2.1

3. Revisión bibliográfica.

3. Revisión bibliográfica.

Existe una gran cantidad de publicaciones en la literatura científica que abordan el estudio del contenido de radioactividad natural tanto en las aguas subterráneas como superficiales. El punto de partida para una mejor comprensión del mismo es conocer cuáles son los isótopos radioactivos presentes en el medio subterráneo. Todos los radioisótopos naturales contenidos en el agua proceden de la desintegración de tres isotopos que dan lugar a tres grandes familias desintegración radioactiva natural: El Uranio 238 (U-238), el torio 232 (Th-232) y en menor medida el Uranio 235 (U-235), (Hileman *et al.*, 1993; Thomas *et al.*, 1993). En la Fig. 1 del anexo 1.1 pueden verse las 3 series. A partir de estos tres isótopos iniciales se irán formando por sucesivas desintegraciones el resto de radioelementos. Los más frecuentes en el agua son U-238, U234, Th-230 y Ra-226 de la serie del U-238, el Th-232, Ra-228, Th-228 y Ra-224 de la serie del Th-232 y el U-235.

El **U-238** es emisor de partículas alfa y gamma y tiene una vida media de $4,49 \times 10^9$ años. En condiciones oxidantes, sobre todo en presencia de carbonatos tiende a formar complejos solubles (Dueñas *et al.*, 1997) que permiten su movilización y transporte a largas distancias de su lugar de origen. En condiciones reductoras precipita dando lugar a concentraciones de depósitos secundarios, lo cual varía los ratios de concentración con respecto a otros radionucleidos como por ejemplo el Ra-226 haciendo que sus concentraciones sufran una amplia variación en función de las condiciones del medio. Esta misma argumentación es sostenida por Bonotto *et al.*, 2008; Reyes-Cortés *et al.*, 2012 y Almeida *et al.*, 2004.

EL **U-234**, de la serie del **U-238** es emisor de partículas alfa y beta y su vida media es de 24,1 días. El **U-235** emite partículas alfa y tiene una vida media de $0,7 \times 10^9$ años, siendo menos frecuente en el medio subterráneo.

El uranio normalmente se presenta como U^{4+} y U^{6+} (Reyes-Cortes *et al.*, 2012). En medio oxidante el U^{6+} se presenta en forma de ión uranilo UO_2^{2+} , siendo muy soluble. En medio reductor la forma presente es el U^{4+} bajo la especie de uraninita UO_2 y sus hidróxidos que son compuestos insolubles por lo que se inmovilizan. Asimismo sostiene que algunas fuentes de uranio no pertenecen a mineralizaciones de origen primario sino a depósitos de uranio formados en arcillas o arenas cuando el uranio que es transportado en el agua es adsorbido por material carbonoso (orgánico o inorgánico) presentes en los sedimentos. Esta misma línea de trabajo es mantenida por Asikainen *et al.* (1979), el cual señala que las altas concentraciones de radioactividad en el agua no solo dependen de mineralizaciones primarias de uranio o torio sino que muchas veces están influenciadas por la existencia de depósitos secundarios asociados a mineralizaciones de hierro y manganeso recubriendo las paredes de fracturas, fisuras o poros de medios porosos. Puede también ocurrir que las altas concentraciones de U y Th no provengan del entorno cercano en el que han sido recogidas sino que hayan sido transportados de zonas lejanas del acuífero, formando distintas especies en disolución.

En las formaciones rocosas el uranio está presente formando parte de minerales como la monacita, allanita, titanita o circón. Se ha intentado establecer modelos termodinámicos que permitan calcular el estado de oxidación del uranio basándose en el supuesto de que existe un equilibrio químico entre el uranio y otro par redox, como el hierro o arsénico (Thomas *et al.*, 1993), sin embargo no se han obtenido resultados demasiado positivos ya que en el medio subterráneo no suelen establecerse equilibrios químicos entre dichos pares redox.

El **Th-232** emite partículas alfa y gamma. Tiene una vida media de $1,41 \times 10^9$ años. El **Th-234** procede de la familia del U-238, emite partículas alfa y tiene una vida media de $2,48 \times 10^5$ años.

El **Th-230**, procede de la familia del U-238, emite partículas alfa, tiene una vida media de $7,52 \times 10^4$ años. En el agua es menos móvil que el radioelemento al que da lugar, el Ra-226, contribuyendo por ello en menor medida a la actividad alfa total. El torio es tres o cuatro veces más abundante que el uranio en la corteza (Bonotto *et al.*, 2009) debido a que es menos susceptible de movilizarse. Suele presentarse como Th^{4+} en feldespatos, óxidos, silicatos y minerales como la monacita, torianita y torita. Al ser minerales insolubles hacen que el torio no tienda a ponerse en disolución en el agua. Su solubilidad tiende a aumentar al formar complejos orgánicos e inorgánicos con el Cl^- , NO_3^- , $\text{H}_3\text{PO}_4^\circ$, H_2PO_4^- , $\text{SO}_4^{=}$ etc. Al igual que el uranio puede ser absorbido por la materia orgánica.

El **Ra-228**, procede de la familia del Th-232. Emite partículas beta y tiene una vida media de 5,75 años. Sus concentraciones en el medio acuático suelen ser bajas ya que es bastante insoluble en agua. Si en el medio no se produce un enriquecimiento en U-238, el Ra-228 suele ser el radioelemento más abundante, ya que procede del Th-232 el cual tiene una mayor abundancia en la corteza (Almeida *et al.*, 2004).

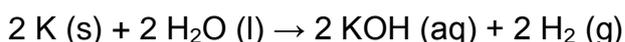
El **Ra-226** (procede de la familia del U-238) emite partículas alfa, tiene una vida media de 1.622 años. Se inmoviliza por adsorción de feldespatos alterados de las arcillas y materia orgánica. En aguas ricas en sulfatos coprecipita junto a la barita. Godoy *et al.*, (2006) en un estudio realizado en Brasil demostró que tanto el Ra-226 como el Ra-228 están asociados a granitos y esquistos, a salmueras altamente mineralizadas e incluso a aguas termales. Dueñas *et al.* (1997) lo asocia granitos y esquistos mientras que Almeida *et al.* (2004) vio una correlación con suelos ricos en óxidos e hidróxidos de hierro, algo que también observó Welch *et al.*, 1998.

El **Ra-224** (Th-232) emite partículas alfa, tiene una vida media de 3,64 días. El comportamiento del Ra-226 y Ra-224 es similar al del Ca, por lo que tiende a concentrarse en los huesos (Dueñas *et al.*, 1997). El Ra-224 es bastante insoluble por lo que no se moviliza en el medio subterráneo y tiende a concentrarse en sus zonas de origen (fuentes de Th-232).

El **Rn-222** (familia de desintegración del U-238) es para muchos el causante de gran parte de los problemas de radioactividad en agua y suelos. Emite partículas alfa y su vida media es de 3,25 días. Procede directamente de la desintegración del Ra-226. Se presenta en estado gaseoso por lo que se puede desplazar a largas distancias. El contenido en Rn-222 depende de su concentración inicial, de un factor de emanación, densidad y porosidad del terreno y su migración está condicionada por el volumen de agua contenida en el suelo y la temperatura (Galán *et al.*, 2008). En esta misma publicación los autores señalan las altas coincidencias entre las zonas de riesgo por radiación gamma (proyecto MARNA del CSN) con las zonas de distribución del Rn-222 en Extremadura. Las zonas con mayores niveles de Rn-222 se situaban en granitos, los niveles intermedios en pizarras y rocas sedimentarias y los valores más bajos en acuíferos aluviales. Bonotto *et al.* (2008) señalan que la solubilidad de los radioisótopos en el agua seguía el siguiente orden: Ra>U>Th, lo cual ayuda a comprender el grado de concentración de estos en el medio acuático.

El **Po-210** (U-238) emite partículas beta y, tiene una vida media corta, 3,10 minutos. Está asociado a aguas con alto contenido en sulfatos y pH bajos o depósitos de uranio y feldespatos.

Otro radioelemento presente en las aguas subterráneas que no pertenece a ninguna de las tres familias de desintegración descritas es el **K-40**. Emite partículas beta y su vida media es de $1,28 \times 10^9$ años. Procede de la disolución de minerales con K como feldespatos potásicos, biotita o bien por intercambio iónico de Ca y Mg con el K de arcillas que lo contienen. Según Bonotto *et al.* (2009) es uno de los principales responsables de radiación gamma. Decae directamente en Ca-40 emitiendo una partícula beta y en AR-40 emitiendo radiación gamma. En el agua el K-40 reacciona:



En el proceso de desintegración de los radioisótopos es necesario tener siempre presente la vida media de los mismos ya que esta junto con la velocidad del agua en el medio subterráneo van a condicionar sus concentraciones respecto a sus lugares de origen y el punto en el que se va a tomar la muestra para su analítica (Jobbágy *et al.*, 2011). En esta misma línea Dueñas *et al.* (1998), nos muestra como el Ra-224 con una vida media de tan solo 3,64 días y considerando una velocidad media del flujo subterráneo de 0,3 m/d decaería a cero en tan solo 18 días por lo que su desplazamiento sería tan solo de unos pocos metros. El mismo argumento mantiene Vuković *et al.* (1996) en un estudio realizado sobre la influencia de la contaminación de las cenizas radiactivas generadas en la central térmica de Obrenovic (Yugoslavia). El comportamiento de los radioelementos no solo estará condicionado por su vida media sino por otros factores como son su solubilidad, la cual además depende de las condiciones de oxido-reducción y por la presencia de determinados materiales en el acuífero, como pueden ser arcillas, materia orgánica o carbonosa, óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, etc.

En toda la bibliografía consultada no se ha encontrado artículo alguno que muestre la existencia de correlaciones entre los distintos indicadores de radioactividad y los constituyentes químicos del agua, ya sean mayoritarios, minoritarios o traza. La actividad alfa se debe principalmente a los productos de desintegración del U-238 y Ra-226 mientras que la actividad beta es producida fundamentalmente y por el K-40 (biotita y feldespatos) y Ra-228. Thomas *et al.* (1993) y Waller *et al.* (2008) ponen de manifiesto que las muestras de agua tomadas a mayores profundidades suelen presentar un mayor contenido en radioelementos.

Otro factor de gran interés es el que hace referencia a la información que nos aportan las relaciones o ratios de concentración entre distintos radioisótopos. La ratio Ra-226/Ra-228 y Th-230/Th-232 permiten identificar la familia de desintegración dominante en el acuífero (Asinkainen *et al.*, 1979). Erőss *et al.* (2012) utiliza la relación Rn-222/Ra-226 como un método útil para caracterizar los distintos flujos que afloran en una misma zona de descarga regional con distinta T^a, composición y estado redox, y a partir de dicha relación extraen conclusiones interesantes sobre los procesos de formación del sistema cárstico de Buda en Hungría, afirmando que dicha relación frente a la T^a permite identificar las zonas de mezcla del agua superficial frente a las termales más profundas.

La relación U234/U238 aporta información interesante sobre los procesos que tienen lugar en el acuífero en relación con la profundidad de procedencia del agua y del uranio (Asinkainen *et al.*, 1970 y Jobbágy *et al.*, 2010). En condiciones naturales si no existen aportes extras de uranio en el acuífero o actúa algún otro proceso dentro del mismo que modifique sus concentraciones relativas debe de mantenerse un equilibrio en torno a 1 entre sus concentraciones, por lo que ratios por encima del uno nos estarían informando de aportes adicionales de uranio de otras zonas.

A la hora de interpretar los datos de la actividad alfa y beta total de las analíticas hay que proceder con cautela. Existen muchas publicaciones que tratan sobre la metodología empleada a la hora de determinar dichas actividades en las muestras de agua así como artículos que tratan o aportan información sobre la precisión y grado de correlación entre las metodologías empleadas en sus analíticas (Bonotto *et al.*, 2009). Especial cuidado hay que tener respecto a la actividad beta total, ya que es de suma importancia el tiempo transcurrido desde que se toma la muestra hasta que se analiza en laboratorio, ya que si el tiempo transcurrido es elevado existirá un enriquecimiento de ésta en la botella tomamuestras de manera que se estará sobreestimando su valor respecto al que realmente existe en el acuífero (Welch *et al.*, 1998 y Thomas *et al.*, 1993). Tampoco debe pasarse por alto la incertidumbre que existe cuando se realiza el recuento de partículas beta de distinta energía en la misma muestra, lo cual tiende a complicar la interpretación de los resultados.

En España el organismo responsable de la seguridad en materia de contaminación por radioactividad es el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Este puso en marcha en el año 1991 junto con la empresa Enusa Industrias avanzadas, S.A. un proyecto para evaluar los niveles de radiación gamma natural en el territorio nacional (proyecto MARNA). Este proyecto ha dado lugar a la publicación de un mapa a escala 1/1.000.000 y mapas a escala 1/200.000 de la España peninsular (Fig. 5) en el que se representan los índices de radiación gamma en todo el territorio (Proyecto MARNA, 2000).

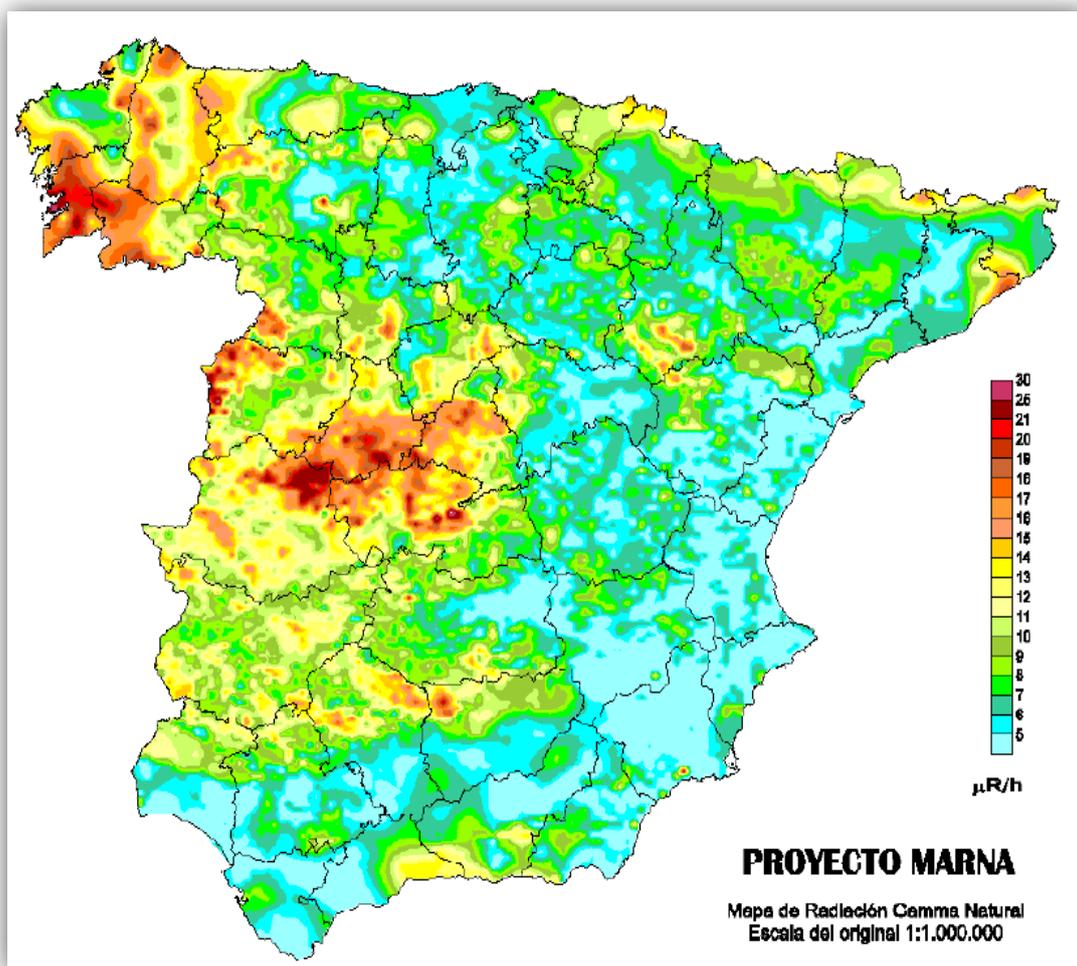


Fig. 5 Mapa MARNA de radiación gamma natural en España. Fuente CSN.

EL mismo organismo (CSN) ha llevado a cabo un nuevo proyecto en el que se pretende obtener un mapa predictivo de exposición al radón en España (Fig.6). Como se ha indicado el Rn-222 procede de los productos sucesivos de desintegración del U-238. El mapa se ha elaborado a partir de la correlación entre la tasa de radiación gamma y la concentración de Ra-226 en cada zona (García *et al.*, 2013). Al respecto Galán *et al.* (2008) muestra la gran similitud

que presentan ambos mapas por lo menos en la región de Extremadura, coincidencia que igualmente es grande en la región de Galicia.

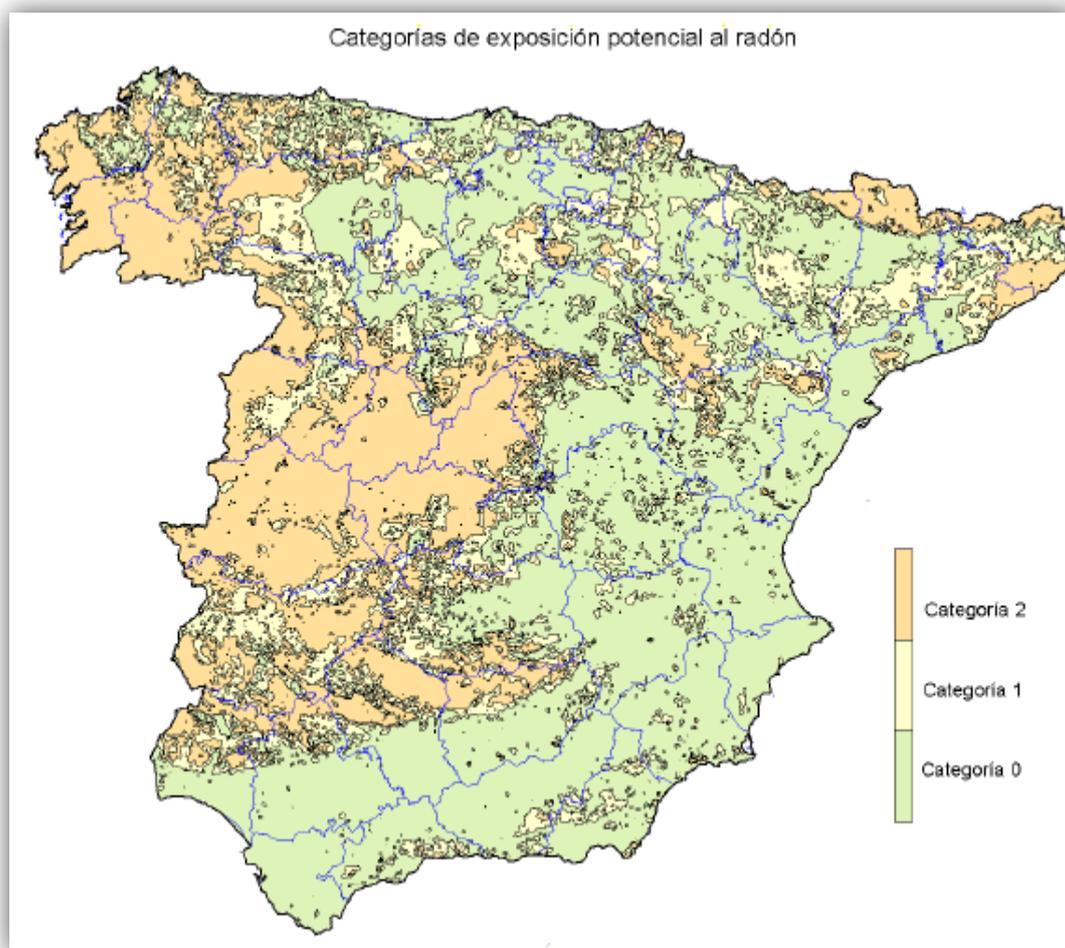


Fig. 6 Mapa de exposición potencial al radón en España. Fuente CSN.

4. Resultados.

4.1 Caracterización de las facies hidrogeoquímica de las muestras

Se ha procedido a realizar la caracterización hidrogeoquímica de las muestras de agua correspondientes a las captaciones que presentan niveles de actividad radioactiva (α_T , β_T) superior a los límites legales establecidos por el R.D. 140/2003. El resultado se puede ver en la figura 7.

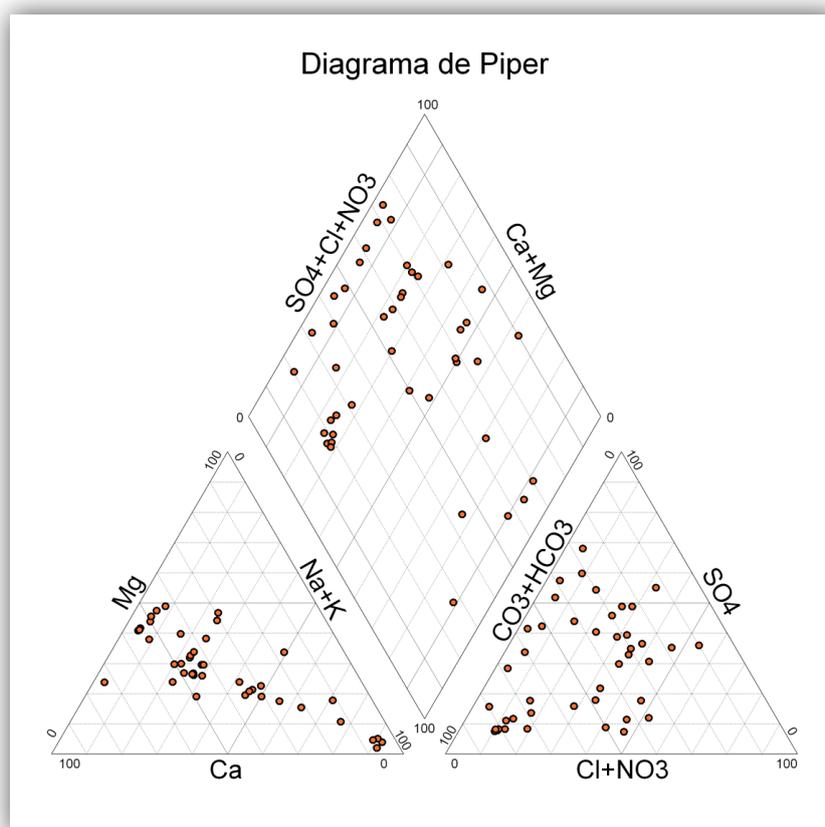


Fig. 7 Diagrama de Piper de las muestras estudiadas.

Debido a que la zona de estudio del presente trabajo es muy extensa y a que por otra parte el muestreo de puntos de agua se concentran particularmente en dos zonas, se ha realizado su caracterización por separado, por un lado las muestras correspondientes a la zona del río Andarax-límite nororiental Sierra de Gádor y por otro las muestras situadas en la Sierra de Los Filabres, ya que desde el punto de vista geológico son zonas totalmente diferentes lo que sin duda condicionan su contenido hidrogeoquímico. En las figuras 1, 2, y 3 del anexo 3.1, 3.2 y 3.3 pueden observarse los diagramas de Piper de las muestras en conjunto y para las zonas del Andarax y Filabres.

En la zona del Rio Andarax-borde suroriental de la Sierra de Gádor hay un

predominio de las facies de tipo sulfatadas (Fig. 8) y en menor medida bicarbonatadas.

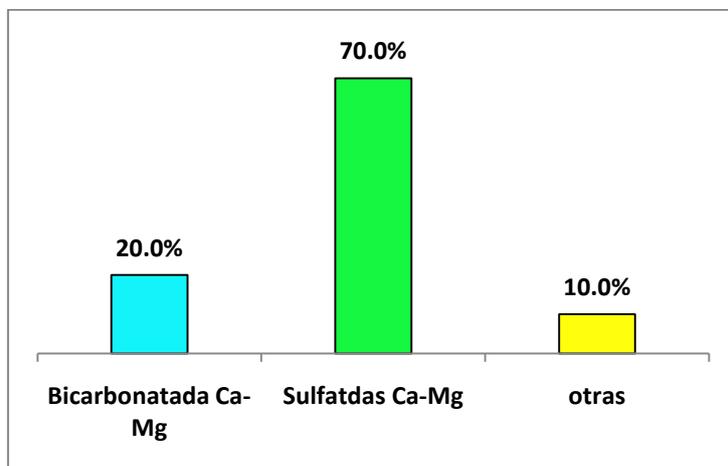


Fig. 8 Facies hidrogeoquímicas predominantes en las muestras de la zona del Río Andarax.

En la zona de la Sierra de Los Filabres el tipo de facies predominante son las facies bicarbonatadas (Fig. 9)

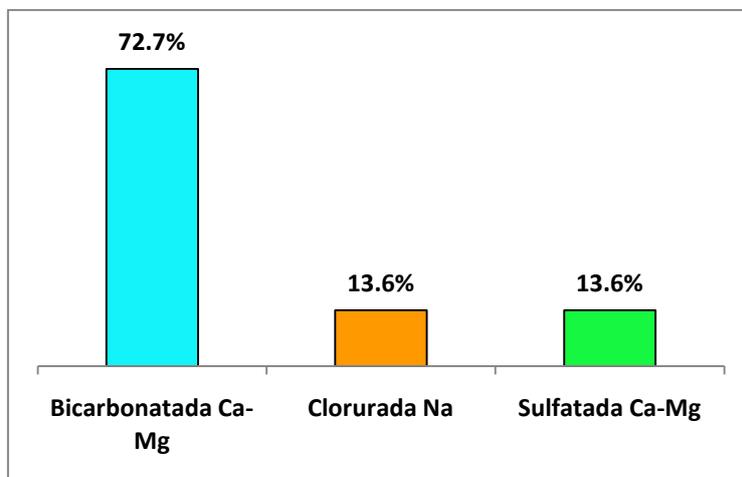


Fig. 9 Facies hidrogeoquímicas predominantes en las muestras de la zona Sierra de los Filabres.

4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS MUESTRAS.

Como se ha indicado el tratamiento estadístico de las muestras se ha realizado utilizando el programa informático STATGRAPHICS PLUS 4.0.

Se ha procedido a realizar el análisis de componentes principales (ACP) de los distintos elementos químicos naturales de las muestras y de sus índices de actividad alfa y beta total con el fin de intentar ver si existe alguna correlación entre algún elemento químico con las actividades alfa y beta. En la Fig. 3 del anexo 2 se puede observar cómo se distribuyen las muestras de aguas en relación a sus niveles de α_T . Puede comprobarse que los mayores niveles de α_T se presentan en la zona de la Sierra de Los Filabres. En la tabla 3 se muestran los estadísticos principales de α_T , β_T y β_R . Las muestras cuyos valores paramétricos de índices de actividad radioactiva presentan niveles por encima de los permitidos se deben fundamentalmente a la alfa actividad. No obstante existe una buena correlación entre los tres índices de actividad radioactiva (Tabla 4) lo que nos indica con seguridad que su origen es el mismo.

Summary Statistics			
	AT	BR	BT
Count	42	42	42
Average	0.512595	0.348524	0.422405
Variance	0.577354	0.17172	0.159946
Standard deviation	0.759838	0.414392	0.399932
Minimum	0.1	0.046	0.07
Maximum	4.1	1.514	1.55
Range	4.0	1.468	1.48
Std. skewness	8.68871	4.87039	4.65991
Std. kurtosis	16.5909	2.94271	2.77021

Tabla 3. Estadísticos principales del los índices α_T , β_T y β_R .

Correlations			
	AT	BR	BT
AT		0.8225 (42) 0.0000	0.8073 (42) 0.0000
BR	0.8225 (42) 0.0000		0.9914 (42) 0.0000
BT	0.8073 (42) 0.0000	0.9914 (42) 0.0000	

Correlation
(Sample Size)
P-Value

Tabla 4. Correlación entre los α_T , β_T y β_R .

En la Fig. 10 se muestra el histograma de frecuencia de la α_T . La mayor parte de las muestras no superan los 0,3 mBq/l de α_T .

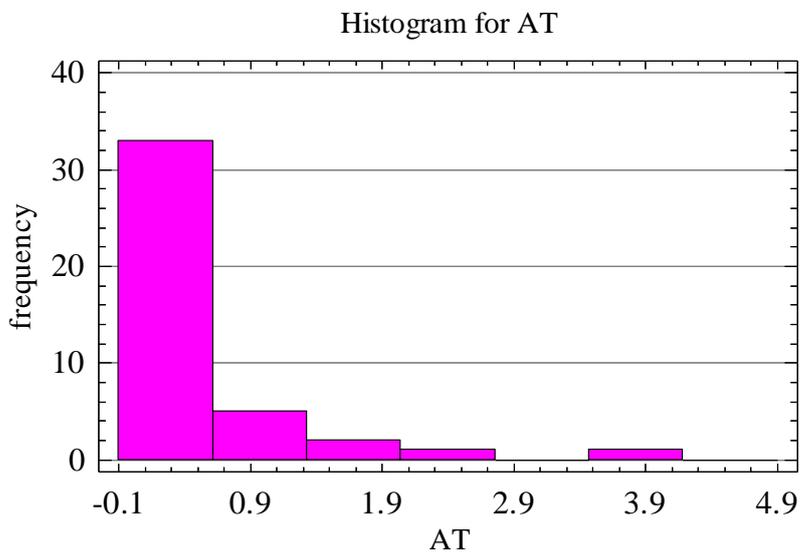


Fig. 10 Histograma de frecuencia de los índices de actividad alfa total.

4.2.1 ACP y clúster de todos los elementos entre sí.

Al analizar el peso de la varianza de los componentes principales no se obtienen relaciones significativas entre estos, de tal manera que para obtener un peso significativo mínimo del 80% es necesario tener en cuenta al menos 8 o 9 componentes principales (Fig. 4 anexo 3.4). El análisis del diagrama de dispersión de las muestras analizadas refleja gran dispersión entre ellas, aunque existen tres que quedan totalmente alejadas del resto (Fig. 5 anexo 3.4). Estas 3 mismas muestras aparecen muy alejadas del resto de muestras en el correspondiente dendrograma, aunque el resto de ellas no muestran tampoco grandes afinidades entre sí (Fig. 7 anexo 3.4). Al relacionar todos los elementos químicos entre ellos no se ha observado ninguna concordancia significativa respecto de los índices de actividad radiactivos α_T y β_T (Fig. 6 anexo 3.4). El NH_4 presenta cierta correlación aunque a priori los niveles de radioactividad natural no guardan relación alguna con el ión amonio, el cual se encuentra más bien relacionado con procesos de contaminación humana por aguas fecales.

4.2.2 ACP y clúster de los elementos mayoritarios.

Dado que no se ha obtenido resultados positivos al correlacionar todos los elementos químicos con la α_T y β_T se ha procedido a realizar el ACP Y Cluster respecto de los elementos mayoritarios. En lo que se refiere a la relación de los componentes mayoritarios de las muestras de agua no se observa la existencia de relación alguna entre estos y los índices α_T y β_T . El diagrama de dispersión no refleja que las muestras tengan un alto grado de agrupamiento (Fig. 9 anexo 3.5). Si observamos el porcentaje acumulado del peso de la varianza vemos que esta tampoco nos aporta valores significativos. Únicamente se logra alcanzar un valor superior al 80% que ofrezca cierto grado de confianza si se tiene en cuenta al menos 3 de los CP, lo cual indica claramente que no existe correlación alguna (Fig. 8 anexo 3.5). El gráfico del peso de los componentes (Fig. 10 anexo 3.5) muestra que los índices α_T y β_T se encuentran totalmente alejados de los elementos químicos mayoritarios. Para tener una mayor certeza se realiza un nuevo gráfico de peso de los componentes relacionado los componentes 1-3 (Fig. 12 anexo 3.5) que no arroja resultado positivo y otro nuevo gráfico con los componentes 2-3 (Fig. 13 anexo 3.5) que muestra cierta relación entre la α_T y el contenido en HCO_3^- . El análisis clúster (Fig. 11 anexo 3.5) no refleja un gran parentesco entre todas las muestras.

4.2.3 ACP y clúster de los elementos minoritarios.

Al analizar el peso acumulado de la varianza de los CP extraídos se obtienen resultados más pobres que cuando se tienen en cuenta los elementos

mayoritarios siendo necesarios 4 CP para alcanzar un porcentaje superior al 80% (Fig. 14 anexo 3.6). El diagrama de dispersión no muestra un agrupamiento de las muestras (Fig. 15 anexo 3.6) lo cual se refleja igualmente en el dendrograma correspondiente (Fig. 17 anexo 3.6). El porcentaje acumulado del peso de la varianza no muestra relaciones significativas entre los elementos minoritarios y los índices α_T y β_T . (Fig. 16 anexo 3.6).

4.2.4 ACP y clúster de todos los elementos traza.

Los resultados obtenidos son similares a los ofrecidos para los elementos minoritarios. No se obtiene un porcentaje acumulado de la varianza en torno al 80% si no se tienen en cuenta al menos 7 CP (Fig. 18 anexo 3.7). Tanto el diagrama de dispersión de las muestras como el dendrograma del análisis Cluster no refleja gran parentesco entre las muestras (Fig. 19 y 21 anexo 3.7 respectivamente). El gráfico del peso de los componentes no refleja correlación entre los elementos traza y los índices de actividad α_T , β_T y β_R (Fig. 20 anexo 3.7).

4.2.5 ACP y clúster de las muestras respecto del pH y la CE.

El porcentaje acumulado del peso de la varianza alcanza una 81% para dos CP lo que a priori reflejaría un buen resultado (Fig. 22 anexo 3.8) y el diagrama de dispersión de las muestras da un cierto agrupamiento de algunas de ellas (Fig. 23 anexo 3.8) aunque existen bastantes que no se agrupan debido muy probablemente a su amplia distribución geográfica. Ello se puede observar en el dendrograma correspondiente (Fig. 25 anexo 3.8). Sin embargo cuando se analiza el gráfico del peso de las muestras entre el pH y la CE respecto de α_T y β_T se vuelve a comprobar que no hay correlación alguna (Fig. 24 anexo 3.8).

4.2.6 ACP y clúster de las muestras de la zona de la Sierra de Los Filabres.

Dado que los análisis realizados a todas las muestras en conjunto no muestran correlaciones positivas para con ninguno de los diferentes elementos químicos ya sean mayoritarios, minoritarios o traza, se ha procedido a realizar el ACP Y Cluster a la muestras agrupadas por su distribución geográfica: zona de Sierra de los Filabres y zona en torno a la cuenca del Río Andarax.

En lo referente a las muestras situadas en la Sierra de Los Filabres (Fig. 11), de las cuales se disponen de un total de 25 muestras, el peso de la varianza de los CP no dan relaciones significativas entre estos, de tal manera que para obtener un peso acumulado significativo mínimo del 80% es necesario tener en

cuenta al menos 6 CP (Fig. 26 anexo 3.9). El análisis del diagrama de dispersión de las muestras analizadas refleja cierta dispersión entre ellas (Fig. 27 anexo 3.9), lo que se pone nuevamente de manifiesto al analizar su dendrograma correspondiente (Fig. 29 anexo 3.9). Al relacionar todos los elementos químicos entre sí no se ha observado ninguna concordancia significativa respecto de los índices de actividad radiactivos α_T y β_T (Fig.28 anexo 3.9). Solo se obtiene un cierto grado de proximidad con el selenio. No obstante no se han podido correlacionar los elementos Al, B, Cn, Hg, Cu, Fe y Pb ya que las muestras o bien no presentaban contenido alguno de estos o bien no se disponían de sus valores exactos ya que su contenido en las muestras estaban por debajo del valor paramétrico exigido por la normativa y por ello no se les calcula su contenido real con la exactitud necesaria para el presente trabajo.

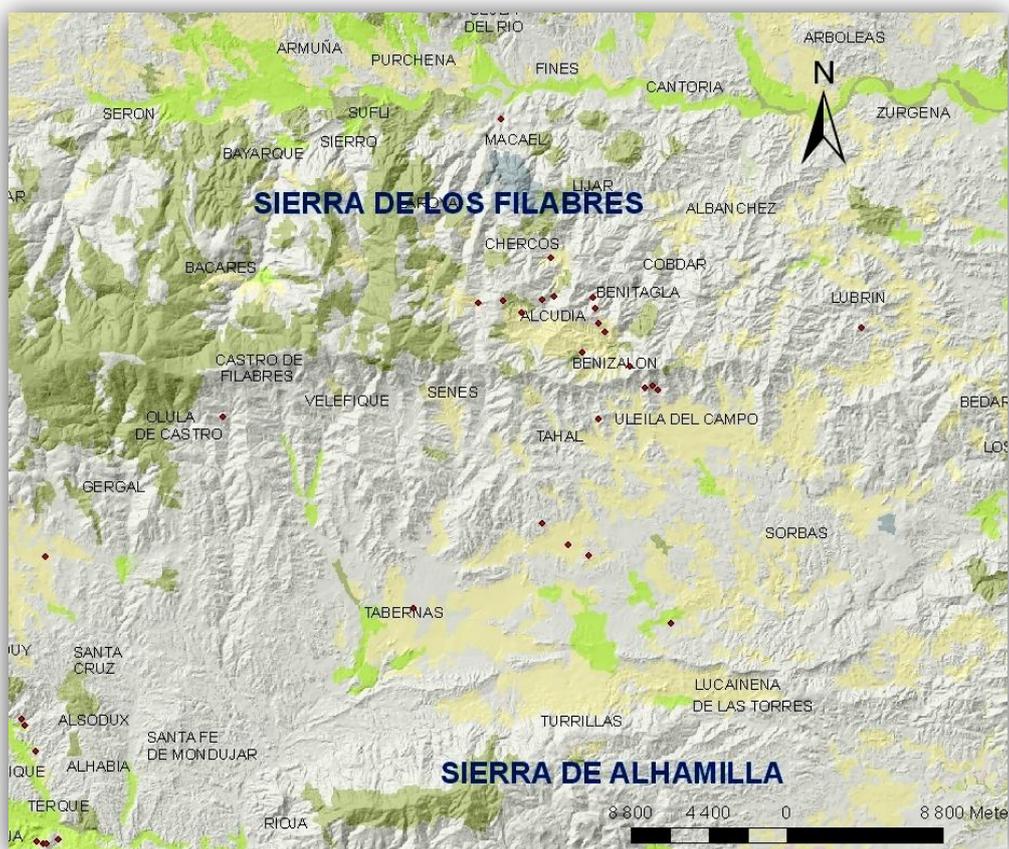


Fig. 11 Situación de las muestras analizadas pertenecientes a la Sierra de Los Filabres.

4.2.7 ACP y clúster de las muestras de la zona de la cuenca del Río Andarax.

La situación de las muestras puede verse en la figura 12. En total se disponen de 15 muestras, de manera que no puede realizarse un ACP Y Cluster de todos los elementos químicos a la vez, por lo que se procedido a analizar por un lado los cationes y por otro los aniones. Al igual que en el apartado anterior ha habido que realizar un filtrado de aquellos elementos de los cuales no se disponían de datos precisos.

Para el análisis de los cationes se ha debido de eliminar el Al, Cu, Hg, Mn y Pb. En las figuras 30 a 33 del anexo 3.10.1 pueden verse los resultados obtenidos. El porcentaje acumulado de la varianza da mejores resultados respecto a la zona de los Filabres aunque quizás sea porque se tienen menos muestras. No obstante mediante un único CP no se obtiene un 80%, siendo necesario al menos 2 o 3 CP. Las muestras presentan cierta dispersión al igual que el

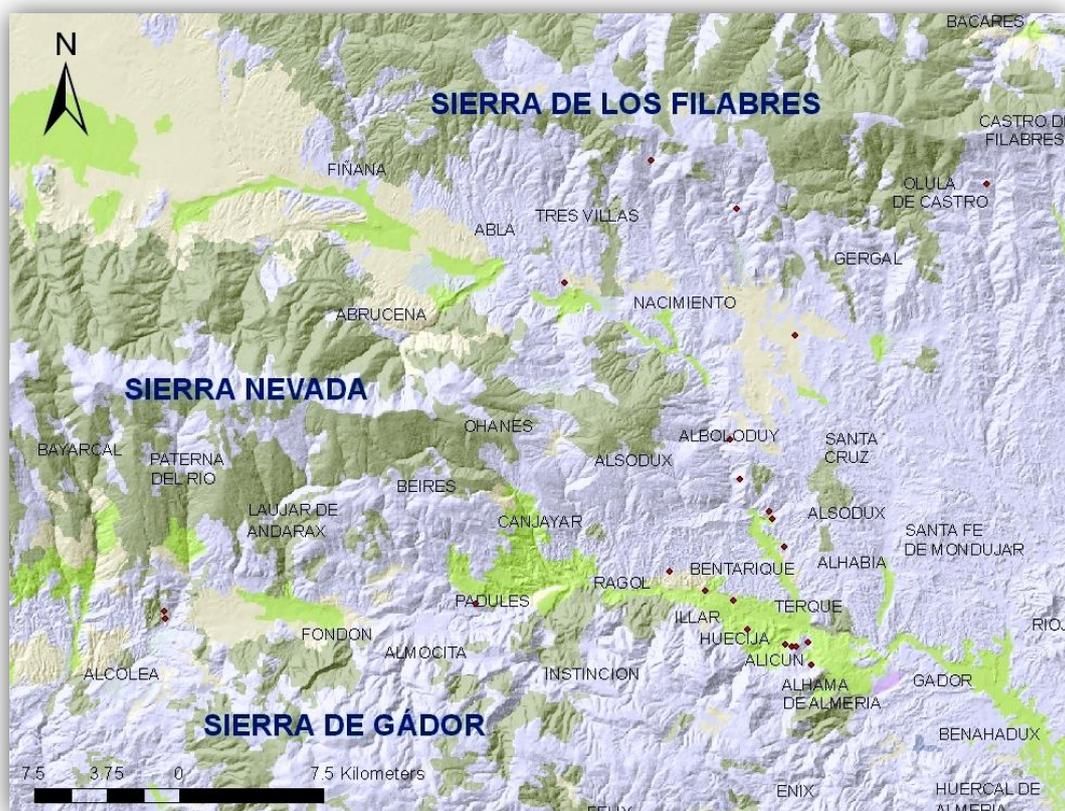


Fig.12 Situación de las muestras analizadas pertenecientes a la zona de la cuenca del Río Andarax.

dendrograma. En cuanto a las correlaciones de los cationes respecto de la α_T y β_T se observa que la α_T va por separado respecto de la β_T a diferencia de lo que ocurre en Los Filabres. La α_T presenta cierta correlación con el Fe y As mientras que la β_T con el Mg.

Respecto a los aniones ha habido que eliminar el B, Cn, NH₄ y NO₃. Sus análisis se pueden apreciar en las figuras 34 a 37 del anexo 3.10.2. El porcentaje acumulado de la varianza da unos resultados similares a los cationes, así como el dendrograma y el diagrama de dispersión de las muestras. Es necesario tener presente que el número de muestras es muy inferior respecto a la zona de los Filabres. A semejanza con los cationes la α_T , β_T van por separado, de manera que la α_T presenta mayor correlación con el F mientras la β_T con el SO₄.

4.2.8 ACP y clúster de las muestras con predominio de facies bicarbonatadas.

El número de muestras con estas características que han podido ser analizadas son unas 20. La falta o mala calidad de los datos han hecho que deban de ser eliminados aquellos elementos con datos insuficientes, en concreto el Al, B, Cn, Cu, Mn, Hg y Pb. La situación de las muestras puede verse en el mapa de la figura 13. La mayor parte de las mismas se encuentran enclavadas en la zona de Sierra de Filabres a excepción de unas pocas situadas en la zona del Andarax.

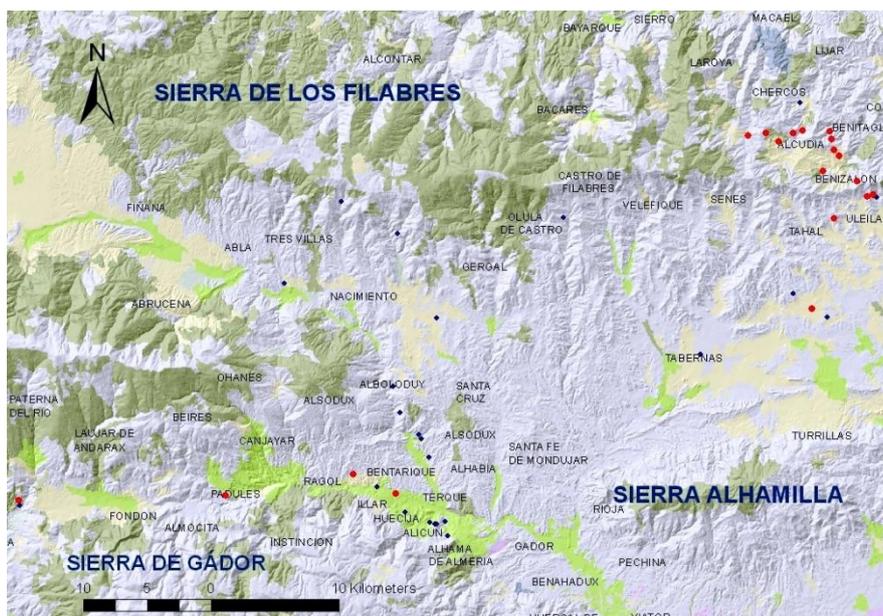


Fig. 13 Situación de las muestras analizadas con predominio de carbonatos (puntos rojos).

El análisis del peso de la varianza de los CP no da relaciones significativas entre estos, de tal manera que para obtener un peso significativo mínimo del 80% es necesario tener en cuenta al menos 5 CP (Fig. 38 anexo 3.11). El análisis del diagrama de dispersión refleja cierta dispersión entre las muestras (Fig. 39 anexo 3.11). Ello se pone de manifiesto igualmente en su dendrograma correspondiente (Fig. 41 anexo 3.11) en el que se pueden apreciar al menos 5 grupos de familias. Al relacionar todos los elementos químicos entre sí no se ha observado ninguna concordancia significativa respecto de los índices de actividad radiactivos α_T y β_T (Fig. 40 anexo 3.11). Solo se obtiene un cierto grado de proximidad con el selenio y antimonio, aunque este hay que descartarlo ya de de las 20 muestras analizadas 9 de ellas no disponían de un valor exacto.

4.2.9 ACP y clúster de las muestras con predominio de facies sulfatadas.

El número de muestras con estas características que han podido ser analizadas son 17. Aquellos elementos de los que no se disponía de un número importante de datos o no se recogían sus valores exactos han sido eliminados, en concreto el Al, B, Cn, Cu, Mn, Hg y Pb. Ello ha supuesto que no puede realizarse un ACP Y Cluster de todos los elementos químicos a la vez por lo que se procedido a analizar por un lado los cationes y por otro los aniones. Prácticamente casi todas las muestras se localizan en la zona de la cuenca del Rio Andarax (Fig.14).

Para el análisis de los cationes se han eliminado el Al, Cu, Hg, Mn y Pb. En las figuras 42 a 45 del anexo 3.12.1 pueden verse los resultados obtenidos. El porcentaje acumulado de la varianza da mejores resultados respecto a los carbonatos necesitándose solo 3 CP para obtener un 80% del peso acumulado de la varianza, aunque no es significativo por sí solo. Las muestras presentan menor dispersión, y el parentesco entre ellas es algo mayor. En cuanto a las correlaciones de los cationes respecto de la α_T y β_T se observa que la α_T y β_T están un poco distanciadas. Se ve cierta correlación entre la α_T y el antimonio, pero al igual que ocurría con las facies carbonatadas 8 del las 18 muestras no presentan datos de medida exacta del Sb.

El análisis de los aniones se puede apreciar en las figuras 46 a 49 del anexo 3.12.2. El porcentaje acumulado de la varianza da unos resultados similares a los cationes aunque presentan algo más de dispersión. El dendrograma indica una mayor proximidad entre las muestras.

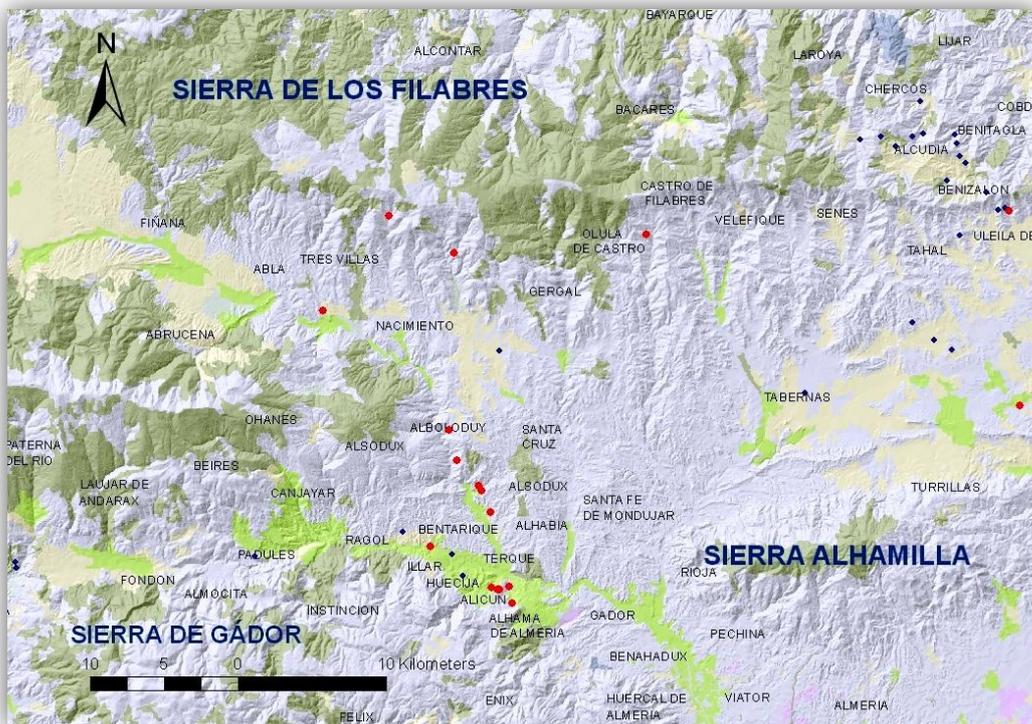


Fig. 14 Situación de las muestras analizadas con predominio de sulfatos (puntos rojos).

4.2.10 ACP y clúster de las muestras con predominio de facies cloruradas.

No existe un número representativo de muestras que permitan llevar a cabo los análisis.

4.2.11 Análisis de las muestras con radionucleidos específicos.

Como ya se ha indicado se disponen solo de 9 muestras de agua con contenido específico de radionucleidos. Su localización se muestra en la Fig. 2 Anexo 2.2.1 y las analíticas en la tabla 2 del anexo 2.2.2. Hay 4 analíticas en la zona del río Andarax y 5 en la zona de la Sierra de los Filabres. En la Fig. 50 del anexo 3.13 se muestran los estadísticos principales de los radionucleidos presentes en las 9 muestras analizadas. De su análisis se puede comprobar que los índices de actividad radiactiva son debidos fundamentalmente a los contenidos de isótopos de uranio y en menor medida a los isótopos de radio. La contribución del torio y del polonio es más bien pequeña. Los mayores índices de actividad radioactiva presentes en las muestras corresponden al U-234, U-238 y Ra-226. El U-234 y Ra-226 son de progenie del U-238. Solo en una muestra el mayor contribuidor a la actividad radioactiva corresponde a la serie del Th-232 y es el Ra-228, aunque la suma de los índices de actividad radioactiva presentes en la muestra de la progenie del U-238 lo supera.

Asimismo de los radioisótopos presentes en las analíticas, todos con la excepción del radio-228 son emisores de partículas alfa, de ahí la razón de que los valores de la α_T sean mayores que los de la β_T y se superen con mayor frecuencia sus valores paramétricos (ver Fig. 1 anexo 1.1).

4.2.11.1 ACP y clúster de las muestras con radionucleidos.

Dado el escaso número de muestras no es posible realizar un análisis conjunto de ACP y Cluster de todas las muestras con todos los elementos a la vez, por lo que se ha optado por realizar análisis parciales. Al no existir datos o presentarse estos respecto al límite de su valor paramétrico se ha eliminado el Al, B, Cn, Cu, Hg, Mn, NH₄, NO₃ y Pb. Asimismo la muestra 9103 perteneciente al término de Terque poseía un contenido en Fe anómalamente muy elevado (27980 mg/l). Dado que dos sondeos muy cercanos a este mostraban contenido en Fe por debajo de 200 mg/l, es de pensar que su analítica posea algún error, posiblemente se tomó la muestra al instante de arrancar la bomba y el agua presentaba alto contenido en hierro procedente de la oxidación de la tubería de revestimiento del sondeo, por lo que se ha optado por igualar su contenido al de los otros dos sondeos (muestras 9101 y 9102). Por otra parte en 4 de las 9 analíticas los valores de Th-232 reflejaban solo el valor de su límite de cuantificación por lo que para no inducir a resultados erróneos no se ha tenido en cuenta. Lo mismo se ha optado con respecto del Ra-228 donde 3 de las 9 muestras presentaban el mismo problema. Ello no hubiera sido preciso si el número de analíticas disponibles hubieran sido mayores.

En primer lugar se ha realizado el ACP Y Cluster entre los isótopos de uranio y radio respecto de la α_T , β_T . En las figuras 51 a 54 del anexo 3.13.1 se presentan los resultados y en las figuras 55 a 58 del mismo anexo se muestran los resultados para el torio y polonio respecto de la α_T , β_T . El peso acumulado de la varianza da mejores resultados para el uranio y radio que para el torio (Fig. 51 y 55 anexo 3.13.1). En la figura 52 se observa que en lo relativo al gráfico de dispersión de las muestra respecto al U y Ra éstas reflejan cierta cercanía. El punto más aislado pertenece a la muestra 9002 situada en la localidad de Tahal en la zona de los Filabres y posiblemente se debe a que posee unos contenidos anómalamente elevados de uranio. El resto tienden a aglutinarse en dos grandes grupos que coinciden cada uno de ellos con las dos zonas a la que pertenecen: Andarax y Filabres. Esto mismo se puede ver en el dendrograma (Fig. 54 anexo 3.1.1) que refleja el grado de parentesco de las muestras. Por otra parte al analizar la correlación del U, Ra, α_T y β_T mediante el gráfico de peso de los componentes (Fig. 53 anexo 3.1.1) se observa una

mayor afinidad entre los radioisótopos del uranio con la β_T mientras que la α_T tiene más afinidad con los radioisótopos del radio. Respecto a los radioisótopos del torio y polonio se observa una mayor dispersión de las muestras respecto a α_T y β_T (Fig. 56 anexo 3.1.1) que posiblemente nos indiquen que tienen una menor influencia en ellos, algo que ya se intuía viendo las analíticas. Observado el gráfico de peso de los componentes (Fig. 57 anexo 3.1.1) no se aprecia una buena correlación entre la α_T , β_T y el Th-230 y Po-210. En cuanto al grado de parentesco de entre las muestras (Fig. 58 anexo 3.1.1) esta no está tan claro como en caso anterior.

Se ha analizado el grado de correlación entre sí de los radionucleidos (Fig. 61 anexo 3.1.1). Existe muy buena correlación entre los isótopos del U. Igual ocurre con el Th-228 y Ra-224 pues ambos pertenecen a la misma familia radiactiva (Th-232) y entre el Th-230 y Po-210 de la misma familia que el U-238. Las muestras presentan una dispersión aceptable (Fig. 60 anexo 3.1.1) con mayor afinidad de las muestras entre sí respecto a su lugar de procedencia.

El estudio de relaciones entre los radioelementos con el pH y la CE (Fig. 63 a 70 anexo 3.1.1) no muestra un buen comportamiento entre ambos con respecto a estos y en ningún de los dos casos parecen existir correlaciones claras.

Por último se ha llevado a cabo el ACP de los radioelementos con respecto a cada elemento químico. En las figuras 71 a 74 del anexo 3.1.1 se muestran los gráficos de peso de los componentes de las muestras respecto a cada elemento. Así se aprecia que el HCO_3^- presenta una mayor correlación con el Ra-224 y Th-228 (Fig. 71-A anexo 3.1.1) ambos de la familia del Th-232. El SO_4^{2-} y Cl^- muestran menor grado de correlación (Fig. 71-B y A anexo 3.1.1) al igual que el F^- (Fig. 73-A anexo 3.1.1). De los cationes Fe, As y Se (Fig. 72 anexo 3.1.1) no se observan muchas afinidades. El que parece presentar mayor correlación es el Se respecto del Ra-224 y Th-228. Por último respecto a los cationes Ca, Mg y Na ocurre algo parecido, no apareciendo correlaciones reseñables de importancia. Parece que existe una mayor afinidad entre el Ca y Mg con el Ra-226.

Antes de finalizar este apartado es necesario señalar un dato de cierta relevancia. Como ya se ha indicado los radionucleidos presentes en el agua proceden todos de la desintegración de tres radionucleidos específicos, U-238, Th-232 y en menor medida U-235 (Fig. 1 anexo 1.1) de tal manera que debe de existir un equilibrio de los mismos dentro de cada serie de desintegración. Si ello no sucede debe de estar ocurriendo algún proceso que interfiera en esa relación. En la tabla 5 se muestra la ratio U234/U238.

NR	x	y	Población	Captación	U234	U235	U238	RA224	RA226
					mBq/l	mBq/l	mBq/l	mBq/l	mBq/l
1101	537322	4089288	Alhama de Almería	Sondeo Los Marmoles	76	1,9	34	3	91
2707	567646	4114389	Benizalon	Sondeo La higuera 3	142	3,4	73	24	1,64
2900	564941	4123582	Chercos	Sondeo La Majada	321	10	223	6,0	53,0
5102	534003	4091177	Huecija	Sondeo El Molinico Nuevo	111	0,00	46	0	43
7101	519890	4092506	Padules	Sondeo Las Cortagenas	95	1,10	31	4,9	91
8803	565901	4107255	Tabernas	Sondeo El Alpargatero	65	2,6	63	11,4	51
9002	560869	4120971	Tahal	Sondeo venta los chopos	2210,00	71,67	1736,67	16,33	115,00
9103	536496	4090233	Terque	Sondeo Nuevo Caype	344,00	8,40	160,00	2,90	136,00
9506	570966	4116051	Uleila del campo	Sondeo Fuente grande	77	1,6	31	6,6	46

NR	x	y	RA228	Th228	Th230	Th232	PO210	U234/238	Muestra	zona
			mBq/l	mBq/l	mBq/l	mBq/l	mBq/l			
1101	537322	4089288	13,4	0,5	0,32	0,11	0,49	2,24	30801	ANDARAX
2707	567646	4114389	0	4,4	0,55	0	2,3	1,95	30797	FILABRES
2900	564941	4123582	64	2	1,1	0,00	6,90	1,44	38975	FILABRES
5102	534003	4091177	0	0,00	13	0,00	7,00	2,41	31221	ANDARAX
7101	519890	4092506	0,00	0,63	0,67	0,20	6,20	3,06	30899	ANDARAX
8803	565901	4107255	106	4,8	0,53	0	0,87	1,03	30970	FILABRES
9002	560869	4120971	77,33	4,70	0,61	0,03	2,83	1,27	30782	FILABRES
9103	536496	4090233	7,80	1,27	0,49	0,09	0,34	2,15	30827	ANDARAX
9506	570966	4116051	36	1,6	0,49	0,14	2,6	2,48	33181	FILABRES

Tabla 5. Analíticas de radionucleidos específicos donde se muestra la ratio U234/U238 y la zona en la que se sitúa cada captación. Los recuadros de color rosado indican que no se conoce el valor exacto del dato analítico.

Se puede observar que las muestras de los Filabres presenten una relación U224/U238 más próxima a uno, mientras que las muestra del Andarax su ratio está mucho más alejada del equilibrio con valores todos por encima de dos. Las perforaciones de la zona de la Sierra de los Filabres cortan materiales impermeables (pizarras, micasquitos, cuarcitas) de tal manera que la mayoría de ellas tienden a captar el agua de cuarcitas muy fracturadas que poseen pocos recursos y suelen estar asociados a flujos locales. Por el contrario las perforaciones de la Cuenca del Río Andarax, están situadas en el borde nororiental de la Sierra de Gádor, cuya geología a grandes rasgos se ha mostrado ya. Suelen captar materiales carbonatados (calizas, dolomías), calcoesquitos y materiales detríticos (conglomerados, margas, arcillas). La zona se caracteriza por presentar fenómenos de aguas termales, lo que está indicado un afloramiento de aguas profundas hacia zonas más superficiales de manera que estas perforaciones estarían captando flujos regionales profundos que aportarían contenidos extra de U234 rompiéndose el equilibrio

mencionado, hecho que no estaría sucediendo en la zona de los Filabres por el carácter más localizado de sus flujos.

4. CONCLUSIONES.

4. Conclusiones.

El presente estudio ha puesto de manifiesto que los puntos de agua con problemas de actividad radioactiva se concentran en dos grandes zonas: Zona de Sierra de Los Filabres y zona en torno a la cuenca del río Andarax en su límite con el borde nororiental de la Sierra de Gádor.

Del análisis de las facies hidrogeoquímicas se ha desprendido que las aguas de la Sierra de Filabres son principalmente de tipo bicarbonatado mientras que las muestras del Andarax son de tipo sulfatado. Ello está de acuerdo con el tipo de materiales que cortan cada una de las captaciones. Las captaciones de los Filabres captan agua de materiales de tipo metamórfico como filitas, esquistos o cuarcitas de naturaleza impermeable en los cuales el agua se encuentra contenida en fisuras y fracturas principalmente en las cuarcitas, es por ello que estos materiales habiliten acuíferos de pequeña extensión y flujos localizados con frecuencia interconectados entre sí. En las captaciones del Andarax por el contrario predominan las facies de tipo sulfatado ya que se suelen captar materiales de naturaleza carbonatada o detrítica del Complejo Alpujárride y sedimentos aluviales que con frecuencia presentan intercalaciones de yesos. Estos materiales son bastantes permeables en conjunto y posiblemente están captando flujos profundos de agua en los cuales el tiempo de estancia en los acuíferos es elevado y se cargan con un alto contenido en sales disueltas. Una prueba de ello son las numerosas manifestaciones de aguas termales de la zona.

Del análisis de las correlaciones entre los distintos índices de actividad radioactiva y los distintos componentes químicos, ya sean mayoritarios, minoritarios o traza no se ha obtenido correlaciones significativas, lo cual está de acuerdo con lo reflejado en toda la literatura científica consultada. Respecto a posibles correlaciones entre los constituyentes químicos con los radionucleidos específicos tampoco se han encontrado correlaciones de valor.

Los principales contribuyentes a la actividad radiactiva en las muestras ha sido, por este orden el U-234, U-238, Ra-226 y Ra-228. Todos ellos pertenecen a la familia de desintegración del U-238 a excepción del Ra-228 que pertenece a la familia del Th-232, lo cual nos está indicando que los problemas de radioactividad son debidos al U-238 tal como ya apuntaba el estudio promovido por la Diputación de Almería en el año 2003.

Llama un poco la atención los valores elevados de actividad del U-234 y U-238 que presenta el sondeo "Venta de los Chopos" de la localidad de Tahal. En la

zona de Los Filabres se ha encontrado cierta correlación entre la α_T , β_T y la concentración de selenio, mientras que en la zona del Andarax con la concentración de Fe, aunque son correlaciones poco significativas. De igual manera no se observan correlaciones algunas cuando los análisis se hacen atendiendo al tipo de facies predominantes en las muestras de agua.

Si resulta bastante interesante el análisis de las relaciones entre las concentraciones de U-234 y U-238 (U-234/U-238) de las muestras de la tabla 2 anexo 2.2.2 que nos indican la relación de equilibrio entre el U-238 y su descendiente el U-234. En circunstancias normales debe de existir un equilibrio en torno a la unidad entre un radioelemento y el isótopo al que da lugar. Esta relación es más cercana a la unidad en las muestras de Los Filabres, mientras que en la del Andarax su valor se encuentra por encima de 2. Posiblemente ello tenga que ver con el tipo de flujos subterráneos que existen en cada una de las zonas. En las captaciones del Andarax pueden estar aflorando flujos regionales profundos que estarían aportando contenidos de uranio adicionales procedentes de otros lugares y estén con ello enriqueciendo las aguas en U-234, el cual posee una vida media de tan solo 24,1 días. Por el contrario los ratios más equilibrados de la zona de los Filabres están reflejando el carácter más localizado de los flujos subterráneos de manera que sus contenidos en uranio sean los contenidos normales que poseen los materiales que lo constituyen, aunque dado que el ratio tampoco está en la unidad es probable que las grietas y fracturas que almacenan el agua presenten mineralizaciones secundarias de hierro o manganeso tapizando sus paredes y estén adsorbiendo el uranio y dando lugar a un cierto enriquecimiento en éste.

Sería recomendable de cara a posibles estudios futuros tener en cuenta una serie de cuestiones:

1. El tipo de analíticas con las que se ha contado no son las más idóneas para este tipo de estudios ya que a aquellos elementos cuyo contenido en el agua no sobrepasan sus valores paramétricos fijados por la ley no se les calcula su valor exacto perdiéndose con ello una información muy importante. Es aconsejable por lo tanto el cálculo exacto del contenido de los elementos analizados, así como que se midan los valores de otros datos de interés como por ejemplo la temperatura de la muestra.
2. Se necesitaría establecer una red de muestreo de puntos de agua mas optimizada desde el punto de vista geográfico en relación a su composición.

3. Para obtener resultados más fiables y representativos habría que disponer de un mayor número de analíticas de radionucleidos específicos, siempre procedentes de muestras recogidas a la salida misma del sondeo o pozo, no de depósitos o balsas de regulación donde con frecuencia el tiempo transcurrido desde su alumbramiento hasta su análisis es elevado y donde con frecuencia se mezclan agua de distintas procedencias. Es de reseñar en este sentido, que es un poco frustrante, dado el escaso número de analíticas de radioelementos, que se tengan que desechar algunas debido a que las muestras fueron tomadas de depósitos de almacenamiento o distribución.

4. Sería necesario comprobar cómo evolucionan en el tiempo para cada punto de agua los índices de actividad radiactiva y el contenido de los radioisótopos específicos.

5. Dado que en la mayor parte de las aguas subterráneas los problemas de radioactividad están ligados al Rn-222, sería recomendable que las analíticas específicas lo contemplaran, así como la actividad del K-40.

5. AGRADECIMIENTOS.

5. Agradecimientos.

Quiero agradecer muy especialmente la ayuda recibida por parte de los tutores del presente trabajo: D. Francisco Javier Martínez Rodríguez y D. Juan Gisbert Gallego. Agradezco a Fco. Javier Martínez, tutor por parte de la Diputación de Almería su dedicación incansable, su cercanía y disponibilidad, su interés para que sacara el máximo provecho de mi periodo de prácticas en la mencionada entidad y sobre todo por trasmitirme su incansable espíritu de trabajo y entrega en el cual creo que es un excelente maestro.

A D. Juan Gisbert Gallego, tutor del máster por parte de la Universidad de Almería por todas la orientaciones y consejos recibidos, el trato cercano y sencillo que me ha dispensado gracias al cual me he sentido especialmente reconfortado, así como su ayuda para que pudiera acceder a las personas y medios que he necesitado. A ambos les doy las gracias por toda su dedicación y por el tiempo que les he robado y por su trato de igual. A ambos los considero verdaderos amigos.

Igualmente quiero agradecer el apoyo y ayuda recibida del personal del Servicio de Infraestructura Urbana perteneciente al área de Fomento, Agricultura y Medio Ambiente de la Diputación de Almería, y muy especialmente al jefe del mencionado Servicio D. Manuel Cordero Oña por haber posibilitado la realización de las mencionadas prácticas y por haber puesto a mi disposición cuantos medios y documentación he necesitado así como por el trato que me ha dispensado desde el primer día.

No quiero pasar por alto la ayuda recibida de dos profesores del departamento de Hidrogeología y Química Analítica de la Universidad de Almería. Por una parte dar las gracias a la profesora D^a Ángela Vallejo Izquierdo por aportarme una pequeña parte de sus conocimientos sobre el manejo de datos hidrogeoquímicos así como sus consejos y enseñanzas sobre el tratamiento estadístico mediante análisis multivariante y al profesor D. Juan Pedro Rigol Sánchez por sus enseñanzas para el manejo de información y datos mediante SIGs. Les agradezco a ambos su trato amable y desinteresado y el tiempo dedicado, pero sobre todo lo que me enseñaron y trasmitieron.

Por último agradecer a mi familia por el apoyo recibido y por haber aceptado con paciencia todo el tiempo y atención que he dejado de prestarles durante la realización del presente máster.

6. REFERENCIAS.

6. Referencias.

Almeida RMR, Lauria DC, Ferreira AC et al (2004) Groundwater radon, radium and uranium concentrations in Região dos Lagos, Rio de Janeiro State, Brazil. *J Environ Radioact* 73:323-334

Asikainen M, Kahlos H (1979) Anomalously high concentrations of uranium, radium and radon in water from drilled wells in the Helsinki region. *Geochim Cosmochim Acta* 43:1681-1686

Bonotto DM, Bueno TO, Tessari BW et al (2009) The natural radioactivity in water by gross alpha and beta measurements. *Radiat Measur* 44:92-101

Bonotto DM, Bueno TO (2008) The natural radioactivity in Guarani aquifer groundwater, Brazil. *Applied Radiation and Isotopes* 66:1507-1522

CSN Proyecto MARNA (2000) Mapa de radiación gamma natural. Colección de informes técnicos 5.200, Consejo de Seguridad Nuclear

Delgado S, Gómez JA, Martín L et al (1980) Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 994 (Baza), IGME. 53 pg

Diputación de Almería (2003) Investigación de las características hidrológicas e hidrodinámicas de la provincial de Almería. Documento inédito.

Dueñas C, Fernández MC, Enríquez C et al (1998) Natural radioactivity levels in Andalusian spas. *Water Res* 32:2271-2278

EC 98/83EC de 3 de noviembre, sobre la calidad del agua de consume humano.

EC 80/778/CEE de 15 de julio, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.

Eróss A, Mádl-Szőnyi J, Surbeck H et al (2012) Radionuclides as natural tracers for the characterization of fluids in regional discharge areas, Buda Thermal Karst, Hungary. *Journal of Hydrology* 426–427:124-137

Galán López M, Martín Sánchez A (2008) Present status of ²²²Rn in groundwater in Extremadura. *J Environ Radioact* 99:1539-1543

García-Talavera M, Martín J et al (2013) El mapa predictivo de exposición al radon en España. Colección Informes Técnicos 38.2013. CSN

Godoy JM, Godoy ML (2006) Natural radioactivity in Brazilian groundwater. *J Environ Radioact* 85:71-83

Hileman GE, Lee, RW (1993) Geochemistry of and radioactivity in ground water of the Highland Rim and Central Basin aquifer systems , Hickman and Maury Counties, Tennessee: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 92-4092, 26 p.

<http://www.ugrstratig.es>, página web del departamento de estratigrafía de la Universidad de Granada

http://www.usc.es/radongal/actualizacions/6_recomendaciones_proteccion.pdf

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwq3rev/es/

Jobbágy V, Kávási N, Somlai J et al (2011) Gross alpha and beta activity concentrations in spring waters in Balaton Upland, Hungary. *Radiat Measur* 46:159-163

Kampschuur W, García G, Perconing E et al (1975) Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 1014 (Vera), IGME. 42 pg

Kampschuur W, Vissers R et al (1975) Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 1013 (Macael), IGME. 43 pg

Kampschuur W, García G, Vissers R et al (1975) Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 1030 (Tabernas), IGME. 31 pg

Kampschuur W, García G, Verburt V et al (1975) Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 1031(Sorbas), IGME. 46 pg

RD 140/2003 de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios del agua de consumo humano.

RD 1138/1990 de 14 de septiembre, por el que se aprueba la reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público.

Reyes-Cortés M, Reyes-Cortés IA, Valdez SE et al (2012) Origen y distribución de la radiactividad natural en la zona norte de la cuenca de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 29:659-675

Thomas JM, Welch AH, Lico MS et al (1993) Radionuclides in ground water of the Carson River Basin, western Nevada and eastern California, U.S.A. *Appl Geochem* 8:447-471

Velando F, Navarro D et al (1979) Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 1012 (Fiñana), IGME. 30 pg

Velando F, Navarro D et al (1979) Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 1029 (Gérgal), IGME. 41 pg

Voezmans FM, Martín L, Gómez JA et al (1979) Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 995 (Cantoria), IGME. 51 pg

Voezmans FM, Martín L, Otto S et al (1980) Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 996 (Huerca-Overa), IGME. 60 pg

Vukovic Ž, Mandic M, Vukovic D (1996) Natural radioactivity of ground waters and soil in the vicinity of the ash repository of the coal-fired power plant "Nikola Tesla" A - Obrenovac (Yugoslavia). *J Environ Radioact* 33:41-48

Wallner G, Wagner R, Katzberger C (2008) Natural radionuclides in Austrian mineral water and their sequential measurement by fast methods. *J Environ Radioact* 99:1090-1094

Welch AH, Lico MS (1998) Factors controlling As and U in shallow ground water, southern Carson Desert, Nevada. *Appl Geochem* 13:521-539

Referencias. Bibliografía no citada.

Agbalagba EO, Onoja RA (2011) Evaluation of natural radioactivity in soil, sediment and water samples of Niger Delta (Biseni) flood plain lakes, Nigeria. *J Environ Radioact* 102:667-671

Baykara O, Dođru M, İnceöz M et al (2005) Measurements of radon emanation from soil samples in triple-junction of North and East Anatolian active faults systems in Turkey. *Radiat Measur* 39:209-212

Bonotto DM (2011) Natural radionuclides in major aquifer systems of the Paraná sedimentary basin, Brazil. *Applied Radiation and Isotopes* 69:1572-1584

El-Mageed AIA, El-Kamel AE, Abbady AE et al (2013) Natural radioactivity of ground and hot spring water in some areas in Yemen. *Desalination* 321:28-31

Flakova R, Zenisova Z, Sracek O et al (2012) The behavior of arsenic and antimony at Pezinok mining site, southwestern part of the Slovak Republic. *Environmental Earth Sciences* 66:1043-1057

Hudak PF (2005) Radioactivity in the Ogallala and Dockum Aquifers, northwest Texas, USA. *Environ Geol* 47:283-289

Janković MM, Todorović DJ, Todorović NA et al (2012) Natural radionuclides in drinking waters in Serbia. *Applied Radiation and Isotopes* 70:2703-2710

Jia G, Torri G, Sansone U et al (2006) Concentrations and characteristics of uranium isotopes in drinking waters collected in Italy and the Balkan regions and their radiological impact on the public. *Radioactivity in the Environment* 8:223-234

Jia G, Torri G, Magro L (2009) Concentrations of ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁵U, ²³²Th, ²³⁰Th, ²²⁸Th, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²²⁴Ra, ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb and ²¹²Pb in drinking water in Italy: reconciling safety standards based on measurements of gross α and β . *J Environ Radioact* 100:941-949

Jia G, Torri G (2007) Estimation of radiation doses to members of the public in Italy from intakes of some important naturally occurring radionuclides (²³⁸U,

234U, 235U, 226Ra, 228Ra, 224Ra and 210Po) in drinking water. *Applied Radiation and Isotopes* 65:849-857

Jia G, Torri G, Innocenzi P et al (2005) Determination of radium isotopes in mineral water samples by α -spectrometry. *Int Congr Ser* 1276:412-414

Jobbágy V, Kávási N, Somlai J et al (2011) Gross alpha and beta activity concentrations in spring waters in Balaton Upland, Hungary. *Radiat Measur* 46:159-163

Jobbágy V, Kávási N, Somlai J et al (2010) Radioanalytical investigations of uranium concentrations in natural spring, mineral, spa and drinking waters in Hungary. *J Radioanal Nucl* 286:417-422

King PT, Michel J, Moore WS (1982) Ground water geochemistry of 228Ra, 226Ra and 222Rn. *Geochim Cosmochim Acta* 46:1173-1182

Kleinschmidt R, Black J, Akber R (2011) Mapping radioactivity in groundwater to identify elevated exposure in remote and rural communities. *J Environ Radioact* 102:235-243

Kleinschmidt RI (2004) Gross alpha and beta activity analysis in water—a routine laboratory method using liquid scintillation analysis. *Applied Radiation and Isotopes* 61:333-338

Kozłowska B, Morelli D, Walencik A et al (2009) Radioactivity in waters of Mt. Etna (Italy). *Radiat Measur* 44:384-389

Labidi S, Mahjoubi H, Essafi F et al (2010) Natural radioactivity levels in mineral, therapeutic and spring waters in Tunisia. *Radiat Phys Chem* 79:1196-1202

Lauria DC, Godoy JM (2002) Abnormal high natural radium concentration in surface waters. *J Environ Radioact* 61:159-168

Levchuk S, Kashparov V, Maloshtan I et al (2012) Migration of transuranic elements in groundwater from the near-surface radioactive waste site. *Appl Geochem* 27:1339-1347

Magalhães MH, Zenaro R, Lauria DC (2005) The radium concentration in groundwater at a waste disposal site in Brazil. Is it naturally occurring or a contaminant?. *Radioactivity in the Environment* 7:1090-1096

Malanca A, Repetti M, de Macêdo HR (1998) Gross alpha- and beta-activities in surface and ground water of Rio Grande do Norte, Brazil. *Applied Radiation and Isotopes* 49:893-898

Mola M, Palomo M, Peñalver A et al (2011) Distribution of naturally occurring radioactive materials in sediments from the Ebro river reservoir in Flix (Southern Catalonia, Spain). *J Hazard Mater* 198:57-64

- Montaña M, Fons J, Corbacho JA et al (2013) A comparative experimental study of gross alpha methods in natural waters. *J Environ Radioact* 118:1-8
- Palomo M, Peñalver A, Borrull F et al (2007) Measurement of radioactivity in bottled drinking water in Spain. *Applied Radiation and Isotopes* 65:1165-1172
- Rajashekara KM, Narayana Y, Siddappa K (2007) ²²²Rn concentration in ground water and river water of coastal Karnataka. *Radiat Measur* 42:472-478
- Reyes E, Marques LS (2008) Uranium series disequilibria in ground waters from a fractured bedrock aquifer (Morungaba Granitoids-Southern Brazil): Implications to the hydrochemical behavior of dissolved U and Ra. *Applied Radiation and Isotopes* 66:1531-1542
- Ruano Sánchez AB, Martín Sánchez A, de la Torre Pérez J Gross alpha and beta indices in water samples revisited. *Applied Radiation and Isotopes*
- Sidle WC, Shanklin D, Lee PY et al (2001) ²²⁶Ra and ²²⁸Ra activities associated with agricultural drainage ponds and wetland ponds in the Kankakee Watershed, Illinois-Indiana, USA. *J Environ Radioact* 55:29-46
- Suresh G, Ramasamy V, Meenakshisundaram V et al (2011) Influence of mineralogical and heavy metal composition on natural radionuclide concentrations in the river sediments. *Applied Radiation and Isotopes* 69:1466-1474
- Turhan Ş, Özçıtak E, Taşkın H et al (2013) Determination of natural radioactivity by gross alpha and beta measurements in ground water samples. *Water Res* 47:3103-3108
- Walencik A, Kozłowska B, Dorda J et al (2010) Natural radioactivity in underground water from the Outer Carpathians in Poland with the use of nuclear spectrometry techniques. *Applied Radiation and Isotopes* 68:839-843
- Welch AH, Szabo Z, Parkhurst DL et al (1995) Gross-beta activity in ground water: natural sources and artifacts of sampling and laboratory analysis. *Appl Geochem* 10:491-503
- Zapata-García D, Llauradó M, Rauret G (2009) Establishment of a method for the rapid measurement of gross alpha and gross beta activities in sea water. *Applied Radiation and Isotopes* 67:978-981

10. ABREVIATURAS UTILIZADAS

10. ABREVIATURAS UTILIZADAS

α_T _ Índice de actividad alfa total.

ACP_ Análisis de componentes principales

β_R _ Índice de actividad beta resto.

β_T _ Índice de actividad beta total.

CE_ Conductividad eléctrica.

CP _ Componentes Principales.

CSN _ Consejo de Seguridad Nuclear

DIT_ dosis indicativa total.

RD _ Real Decreto.

ANEXOS.

ANEXO 1. Introducción.

1.1. Series de radioisótopos naturales presentes en las aguas subterráneas.

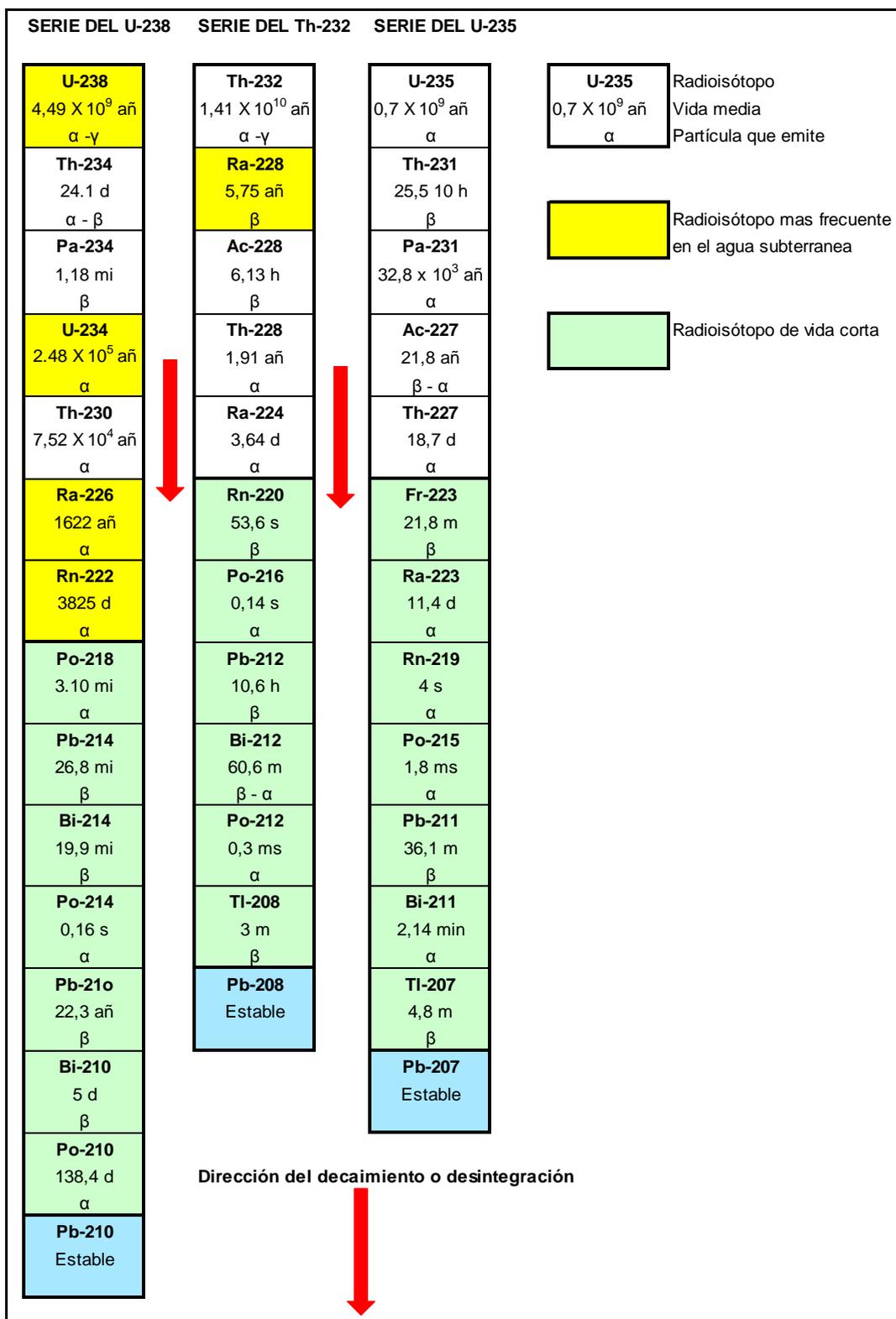


Fig. 1. Series de radioisótopos naturales presentes en las aguas subterráneas. Se muestran sus vidas medias y las partículas radioactivas que emiten. Elaboración propia.

1.2. Valores de referencia de radioisótopos en el agua potable.



Recomendaciones de protección radiológica a la radiación natural. España.

Valores de referencia en agua potable

Isótopo	Concentración Bq/l	Isótopo	Concentración Bq/l
^{226}Ra	0,5	^{239}Pu	0,6
^{228}Ra	0,2	^{241}Am	0,7
^{234}U	2,8	^{60}Co	40
^{238}U	3,0	^{134}Cs	7,2
^{14}C	240	^{137}Cs	11
^{90}Sr	4,9	^{131}I	6,2

Fig. 2 Recomendación del CSN sobre el contenido radioisotópico en el agua de consumo humano (extraído de <http://www.usc.es>)

1.3. Situación de las captaciones objeto de estudio con problemas de radioactividad.

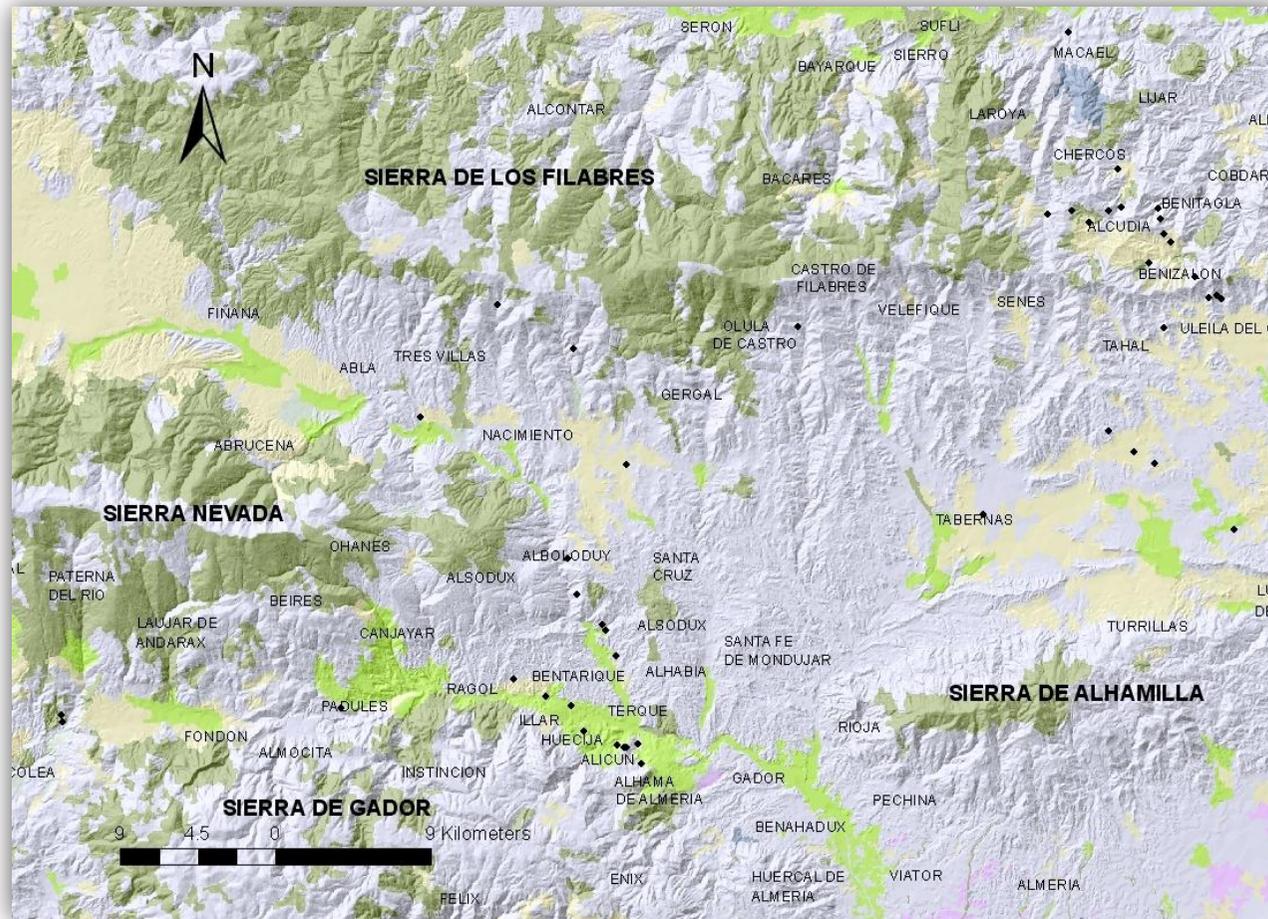


Fig. 3. Situación de los puntos de agua para consumo humano (puntos negros) con problemas de radioactividad.

1.4 Mapa geológico de la zona de estudio.

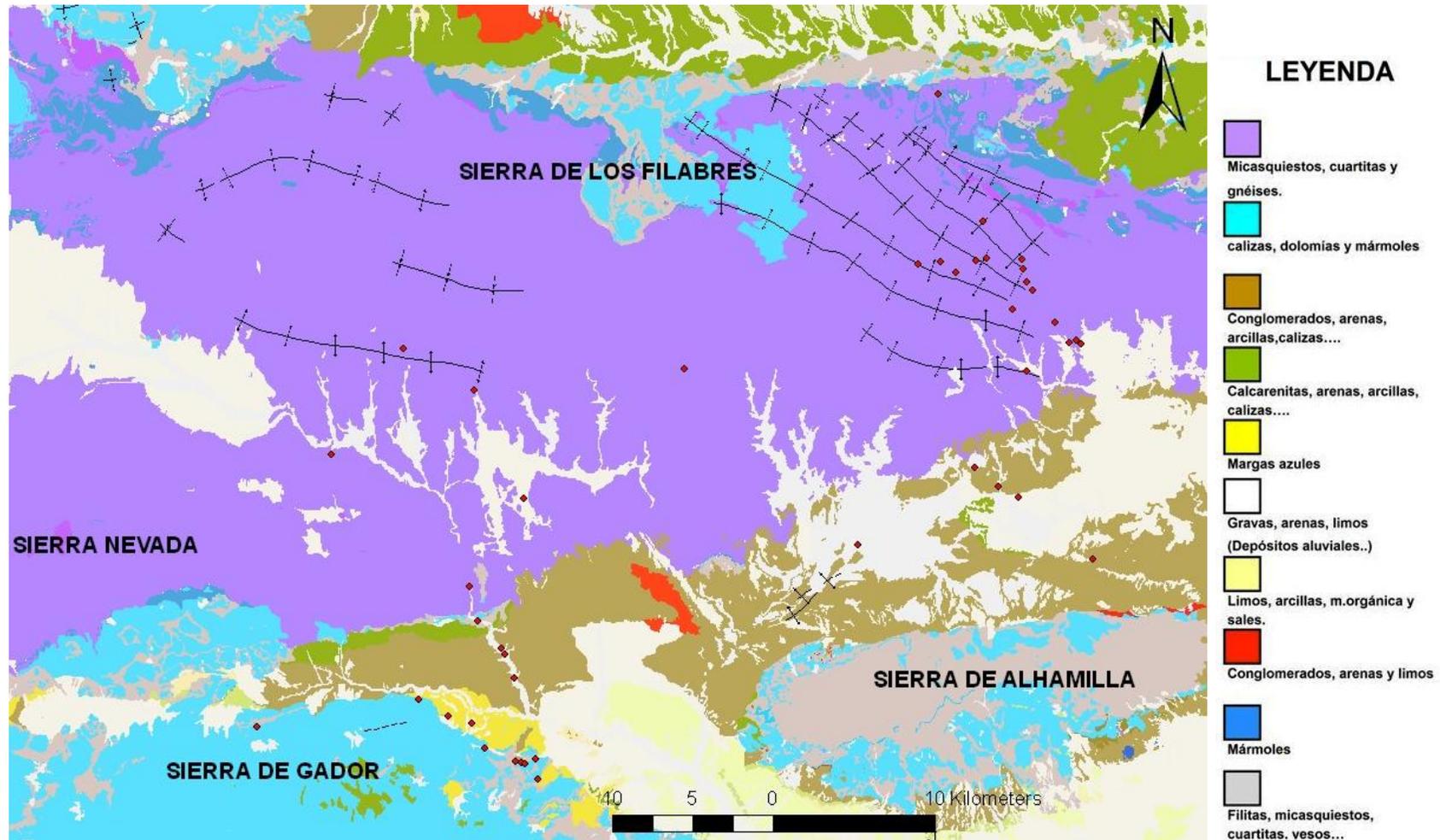


Fig. 4. Mapa geológico de detalle de la zona de estudio. Lo rombos rojos corresponden a la situación de las muestras de agua.

ANEXO 2. Metodología.

2.1. Base de datos de partida en formato Excel utilizado para el presente estudio.

NR	x	y	Población	Captación	Al	NH	Sb	As	BICA	B	Ca	Cn	Cl
					mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
501	533612	4099034	Alboloduy	Sondeo Peñón del Moro	40,70	0,00	0,00	4,30	414,60	0,40	115,30	0,00	216,00
502	533080	4101119	Alboloduy	Captación Río Nacimiento	0,00	0,00	1,20	1,40	308,00	0,70	96,50	0,00	256,00
701	503690	4092109	Alcolea	Sondeo Chorrillo	0,00	0,68	0,00	2,40	368,80	0,00	96,30	0,00	20,50
703	503767	4091706	Alcolea	Sondeo Cortijuelo	0,0	0,53	2,2	31,3	459,4	0,0	463,7	0,0	423,0
901	564455	4121177	Alcudia de Monteagud	Sondeo el arroyo	0,00	3,00	1,80	1,70	380,00	0,00	43,90	0,00	28,80
903	565150	4121330	Alcudia de Monteagud	Sondeo nuevo	0,00	3,40	0,00	0,50	395,00	0,00	77,10	0,00	35,80
1101	537322	4089288	Alhama de Almería	Sondeo Los Marmoles	0,00	2,70	0,00	2,60	218,30	0,00	70,50	0,00	12,60
1201	535930	4090371	Alicún	Sondeo San Sebastián	0,00	0,00	0,00	7,00	421,40	0,00	92,70	0,00	11,70
1501	535893	4095503	Alsodux	Pozo Las Corrientes	20,00	0,80	0,00	1,20	193,00	0,40	146,10	0,00	264,50
2602	567437	4120670	Benitagla	Sondeo la Rambla-2	0,00	2,00	0,00	0,00	402,00	0,00	131,40	0,00	138,60
2605	567332	4121272	Benitagla	Sondeo La Majada	0,00	2,00	0,00	0,00	305,00	0,00	104,20	0,00	137,70
2701	566741	4118152	Benizalon	Sondeo el Toril Viejo	0,00	1,70	0,00	0,00	317,80	0,00	59,20	0,00	22,90
2703	568014	4119345	Benizalon	Sondeo Cruce los caminos	0,00	2,50	2,60	1,30	389,80	0,00	72,50	0,00	40,70
2706	567661	4119851	Benizalon	Sondeo Barranco de Benitagla 2	0,00	2,60	2,40	0,90	395,80	0,00	66,00	0,00	22,90
2707	567646	4114389	Benizalon	Sondeo La higuera 3	0,00	2,90	2,20	0,00	287,80	0,00	56,60	0,00	120,20
2708	569422	4117355	Benizalon	Sondeo Las medinas	0,00	3,20	0,00	0,50	401,00	0,00	107,80	0,00	114,30
2712	567650	4114398	Benizalon	Sondeo Paraje La Sola	0,00	0,30	0,00	1,00	311,80	0,00	58,10	0,00	186,80
2801	533244	4092670	Bentarique	Sondeo Bentarique La Mejora	0,00	0,00	1,20	6,70	220,00	0,00	64,90	0,00	15,60
5004	533402	4113193	Gergal	Sondeo Aulago	44,1	0,70	1,4	5,8	260,6	0,0	151,7	202,0	124,1
5005	536445	4106557	Gergal	Sondeo La Estación	0,00	0,60	0,00	0,50	118,50	0,00	103,80	0,00	167,70
5401	531780	4093173	Illar	Sondeo El porvenir	0,00	2,60	2,40	1,50	246,00	0,00	76,80	0,00	145,40
5501	529948	4094192	Instinción	Sondeo El Rincón	0,00	0,00	1,70	3,80	420,00	0,00	104,20	0,00	13,00
6002	571715	4102781	Lucainena de las Torres	Sondeo la Manoleta	0,00	2,40	0,00	0,00	375,80	0,00	56,10	41,00	246,30
6502	528975	4115742	Nacimiento	Sondeo Gilma	0,00	1,00	0,00	0,00	231,00	0,00	125,10	0,00	69,80
6801	546418	4114493	Olula de Castro	El Tallón	0,00	1,94	0,00	0,00	378,30	0,00	140,10	0,00	77,60
7101	519890	4092506	Padules	Sondeo Las Cortagenas	0,00	0,00	0,00	0,90	349,20	0,00	57,30	0,00	11,70
8001	535086	4097343	Santa Cruz de Marchena	Sondeo de la Hoya	261,40	0,00	1,50	1,40	402,80	0,50	168,80	0,00	280,50
8002	535280	4096966	Santa Cruz de Marchena	Sondeo Mocarra	35,90	0,00	0,00	1,30	390,90	0,40	151,20	0,00	214,00
8801	557171	4103655	Tabernas	Sondeo San Luis	0,00	0,00	0,00	0,70	205,00	0,90	123,10	0,00	631,20

Tabla.1. Base de datos en formato Excel filtrada, con la información de partida para la realización del presente estudio.

NR	Cu	F	Fe	AT	BR	BT	Mg	Mn	Hg	Ni	NOTR	Pb	K	Se	Na	Sulf	CE	pH	Muestra
	mg/l	mg/l	mg/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mS/cm		
501	0,00	0,60	1711,00	0,11	0,18	0,32	42,90	16,90	1,40	2,30	10,70	2,90	3,90	2,00	212,70	396,70	1870,00	7,06	30879
502	0,00	0,60	0,00	0,11	0,12	0,27	38,40	0,00	0,00	2,40	7,50	0,00	3,60	2,40	231,00	341,10	1938,00	6,93	30878
701	0,00	1,00	1082,00	0,30	0,10	0,15	41,60	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	1,00	0,00	17,70	161,30	929,00	7,14	31067
703	0,0	0	3238,0	1,398	1,012	1,095	90,8	145,7	0,0	10,9	0,0	0,0	1,7	0,0	22,1	411,1	2656,00	7,09	31066
901	0,00	0,00	0,00	1,07	1,38	1,40	42,40	0,00	0,00	0,00	8,33	0,00	0,60	23,10	40,80	42,70	702,00	7,54	30781
903	0,00	0,60	6718,00	0,73	1,07	1,10	42,80	102,60	0,30	3,00	28,90	5,50	0,70	2,30	33,80	81,90	808,00	7,49	30780
1101	0,00	1,60	209,80	0,14	0,08	0,12	39,70	0,00	0,00	4,30	0,00	0,00	0,90	0,00	8,60	254,10	838,00	7,25	30801
1201	12,80	2,20	376,10	0,26	0,13	0,18	43,40	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	1,30	0,00	7,90	246,50	995,00	6,99	30892
1501	0,00	0,00	0,00	0,14	0,14	0,31	48,80	0,00	0,00	3,00	36,40	1,80	4,60	2,90	212,30	658,90	2197,00	7,12	30824
2602	0,00	0,70	0,00	0,25	0,13	0,15	49,30	0,00	0,00	2,50	57,10	0,00	0,50	3,30	68,20	152,00	1328,00	7,10	30799
2605	0,00	0,60	0,00	0,17	0,13	0,15	44,80	0,00	0,00	3,60	56,80	0,00	0,40	3,50	61,90	199,30	1334,00	7,09	30800
2701	0,00	0,00	279,40	0,28	0,20	0,22	20,70	0,00	0,00	1,00	12,40	0,00	0,50	5,80	39,30	26,00	614,00	7,34	30795
2703	0,00	0,00	5674,00	4,10	1,49	1,51	24,60	84,90	0,00	2,00	30,20	2,20	0,00	5,70	48,80	60,40	755,00	7,24	30794
2706	0,00	0,00	4961,00	2,58	1,18	1,20	21,90	134,90	0,00	1,80	13,80	2,50	0,00	1,50	37,40	29,70	646,00	7,21	30793
2707	0,00	0,00	120,20	0,22	0,17	0,20	23,60	0,00	0,00	1,60	30,40	0,00	0,70	2,90	77,20	39,70	936,00	7,37	30797
2708	0,00	0,00	0,00	0,22	0,13	0,14	38,20	0,00	0,00	1,80	82,80	0,00	0,40	6,90	83,10	115,90	1203,00	7,13	30798
2712	0,00	0,60	791,80	0,29	0,40	0,50	27,00	11,80	0,00	1,10	0,00	0,00	2,70	1,00	108,00	39,70	1037,00	7,42	30796
2801	0,00	0,00	684,20	0,24	0,07	0,11	40,30	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00	1,00	0,00	9,40	141,90	804,00	7,03	30874
5004	0,0	0,0	25850,0	0,122	0,189	0,272	40,9	0,0	0,0	26,2	0,00	0,0	2,5	0,0	71,4	315,2	1184,00	7,18	30708
5005	0,00	0,00	221,20	0,11	0,13	0,16	24,20	0,00	0,30	0,00	17,70	0,00	1,00	2,50	75,90	181,70	1090,00	7,18	30710
5401	0,00	0,60	0,00	0,44	0,25	0,36	66,40	13,20	0,00	13,80	23,50	0,00	2,60	3,30	69,50	265,20	1303,00	7,24	30802
5501	0,00	0,70	2278,00	0,15	0,07	0,10	47,00	0,00	0,00	2,30	0,00	4,70	0,90	0,00	8,70	137,20	917,00	7,08	30828
6002	0,00	0,80	0,00	0,11	0,09	0,26	67,00	33,30	0,00	1,30	0,00	0,00	4,30	1,30	182,40	307,80	1588,00	7,50	30735
6502	0,00	0,00	4196,00	0,10	0,20	0,31	44,80	42,60	0,00	3,60	0,00	0,00	2,50	0,00	55,50	328,10	1272,00	7,22	30685
6801	0,00	0,00	0,00	0,18	0,27	0,32	62,80	426,40	0,00	3,90	0,00	0,00	1,80	0,00	83,50	315,20	1299,00	7,45	30712
7101	10,80	1,50	140,60	0,17	0,05	0,07	32,30	0,00	0,00	2,70	0,00	7,10	0,60	1,30	7,10	54,10	562,00	7,63	30899
8001	0,00	0,00	389,50	0,12	0,20	0,37	67,40	0,00	0,00	3,30	30,70	1,00	4,90	3,20	275,30	685,90	2363,00	7,02	30875
8002	0,00	0,00	229,80	0,16	0,16	0,32	57,10	0,00	0,00	2,80	27,60	0,00	4,60	3,00	235,50	589,60	2209,00	7,23	30876
8801	0,00	1,00	300,20	0,10	0,09	0,20	53,50	11,60	0,00	1,40	19,70	0,00	2,80	4,90	415,80	578,50	3000,00	7,38	30968

Tabla.1. Base de datos en formato Excel filtrada, con la información de partida para la realización del presente estudio (continuación).

NR	x	y	Población	Captación	Al	NH	Sb	As	BICA	B	Ca	Cn	Cl
					mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
8802	567086	4106607	Tabernas	Sondeo Don Bernabé	0,00	0,86	0,00	1,20	355,00	0,80	13,00	0,00	271,10
8803	565901	4107255	Tabernas	Sondeo El Alpargatero	0,00	0,00	0,00	0,70	561,00	0,80	15,80	0,00	348,30
8804	564440	4108460	Tabernas	Sondeo Cuesta Blanca	0,00	0,00	0,00	0,00	201,00	0,00	18,90	0,00	162,30
9001	563273	4120453	Tahal	Sondeo la Piscina	0,00	2,80	1,40	0,70	247,00	0,00	40,60	0,00	25,80
9002	560869	4120971	Tahal	Sondeo venta los chopos	0,00	3,10	1,10	1,00	260,00	0,00	41,40	0,00	18,90
9004	562280	4121137	Tahal	Sondeo Barranco del Berro	0,00	3,00	1,10	1,00	250,00	0,00	43,20	0,00	19,90
9101	536308	4090278	Terque	Sondeo Cerro Milano	0,00	0,20	1,00	3,20	102,00	0,00	51,40	0,00	11,00
9102	537153	4090480	Alsodux (Terque)	Sondeo El Humbrión	0,00	1,00	1,40	5,80	166,00	0,00	64,40	0,00	12,00
9103	536496	4090233	Terque	Sondeo Nuevo Caype	0,00	0,70	1,80	23,30	217,40	0,00	109,70	78,00	36,10
9501	570681	4116281	Uleila del campo	Sondeo el Calvario	0,00	1,90	3,40	0,80	290,00	0,00	21,50	0,00	86,70
9502	570259	4116135	Uleila del campo	Sondeo Rambla El Cañal Viejo	0,00	1,90	4,40	0,00	341,70	0,00	8,30	0,00	52,20
9506	570966	4116051	Uleila del campo	Sondeo Fuente grande	0,00	0,20	25,10	0,60	180,00	0,00	12,10	0,00	113,30
90102	524502	4109288	Tres Villas	Sondeo Rambla Santillana	0,00	1,10	2,10	1,20	319,80	0,00	118,00	0,00	113,40

NR	Cu	F	Fe	AT	BR	BT	Mg	Mn	Hg	Ni	NOTR	Pb	K	Se	Na	Sulf	CE	pH	Muestra
	mg/l	mg/l	mg/l	Bq/l	Bq/l	Bq/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mS/cm		
8802	0,00	1,60	126,00	0,16	0,13	0,34	7,40	0,00	0,00	2,10	0,00	1,80	4,80	1,00	327,30	138,10	1699,00	7,84	30969
8803	0,00	1,30	281,10	0,30	0,21	0,39	10,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	337,60	117,80	1785,00	7,59	30970
8804	0,00	0,00	0,00	0,24	0,13	0,20	17,90	0,00	0,00	0,00	8,18	0,00	1,60	2,40	135,00	52,10	927,00	7,74	30971
9001	0,00	0,00	0,00	1,43	1,51	1,55	25,30	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,80	6,20	30,60	30,40	562,00	7,98	30784
9002	0,00	0,00	0,00	0,61	0,64	0,67	17,60	0,00	0,00	2,10	0,00	0,00	0,70	3,20	31,70	20,40	514,00	7,56	30782
9004	0,00	0,00	0,00	0,66	0,54	0,57	18,10	0,00	0,00	6,90	0,00	0,00	0,80	4,20	32,00	20,00	510,00	7,83	30783
9101	0,00	1,60	0,00	0,18	0,09	0,22	35,20	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	3,20	0,00	8,90	202,00	728,00	7,84	30826
9102	0,00	1,80	0,00	0,22	0,07	0,13	34,10	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	1,00	0,00	8,40	157,60	720,00	7,52	30825
9103	21,90	1,70	27980,00	0,52	0,24	0,29	50,10	175,80	0,00	14,40	0,00	0,00	1,40	0,00	9,50	326,30	1038,00	7,25	30827
9501	0,00	0,00	0,00	1,25	0,65	0,70	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	8,00	149,60	64,90	846,00	6,67	30815
9502	0,00	0,00	0,00	0,19	0,08	0,14	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	1,60	130,60	30,80	691,00	8,15	30816
9506	0,00	0,00	0,00	1,29	0,43	0,49	2,20	0,00	0,00	0,00	17,80	1,10	1,90	2,20	191,80	165,00	1088,00	8,22	33181
90102	0,00	0,00	278,80	0,13	0,16	0,20	56,50	24,40	0,00	1,90	0,00	0,00	1,00	1,50	73,80	274,40	1361,00	7,26	30684

Tabla1. Base de datos en formato Excel filtrada, con la información de partida para la realización del presente estudio (continuación).

2.2.1 Situación de captaciones con analíticas de radionucleidos.

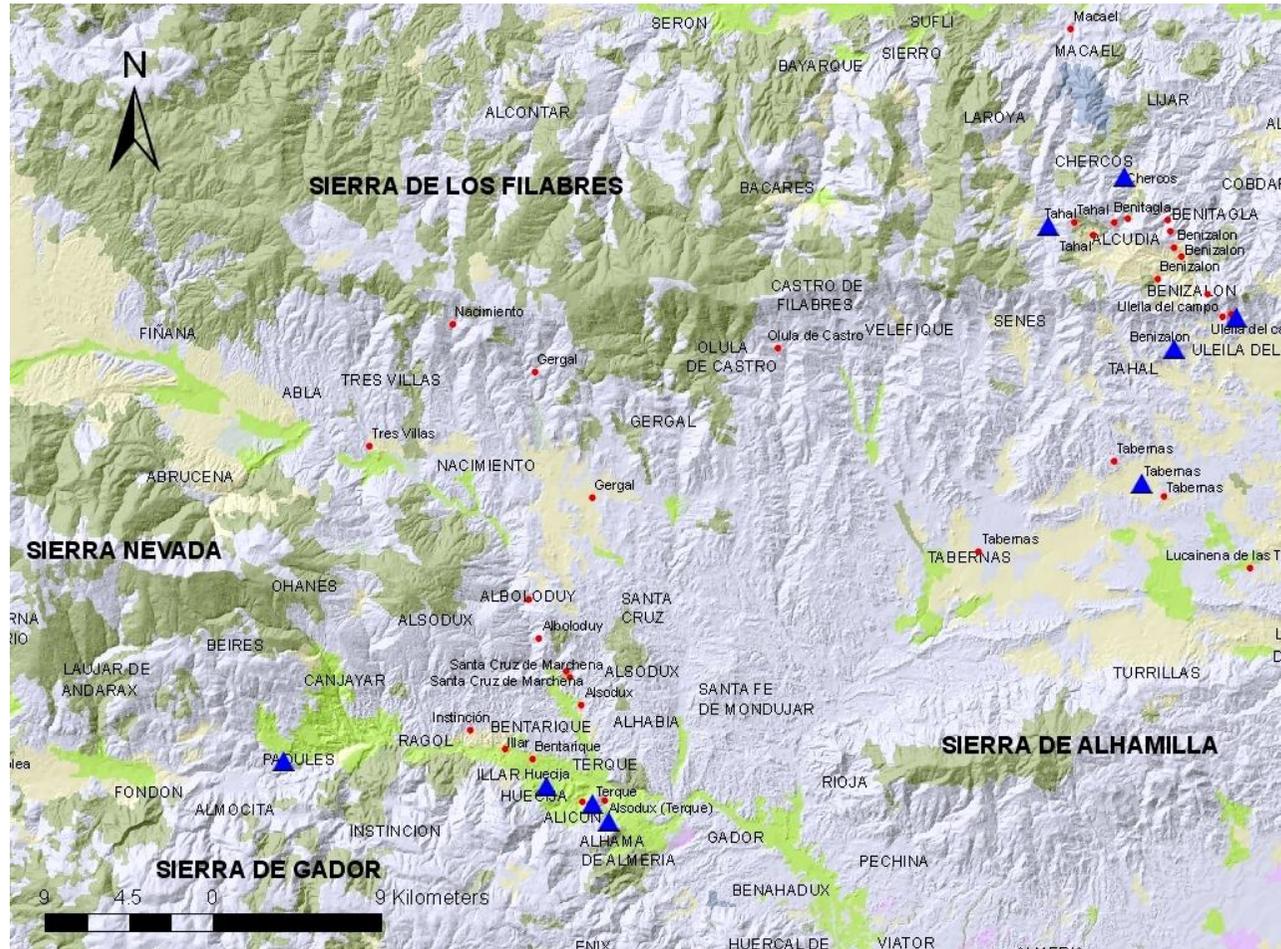


Fig. 2. Distribución geográfica de los puntos de agua (triángulos en azul) con analíticas específicas de radioelementos.

2.2.2 Base de datos de partida en formato Excel de las muestras con analíticas de radionucleidos específicos.

NR	x	y	Población	Captación	Al	NH	Sb	As	BICA	B	Ca	Cn	Cl	Cu	F	Fe
					mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1101	537322	4089288	Alhama de Almería	Sondeo Los Marmoles	0,00	2,70	0,00	2,60	218,30	0,00	70,50	0,00	12,60	0,00	1,60	209,80
2707	567646	4114389	Benizalon	Sondeo La higuera 3	0,00	2,90	2,20	0,00	287,80	0,00	56,60	0,00	120,20	0,00	0,00	120,20
2900	564941	4123582	Chercos	Sondeo La Majada	12,00	0,00	1,20	1,60	278,60	0,00	0,00	0,00	65,80	0,00	0,00	134,20
5102	534003	4091177	Huecija	Sondeo El Molinico Nuevo	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	11,57	0,00	1,20	0,08
7101	519890	4092506	Padules	Sondeo Las Cortagenas	0,00	0,00	0,00	0,90	349,20	0,00	57,30	0,00	11,70	10,80	1,50	140,60
8803	565901	4107255	Tabernas	Sondeo El Alpargatero	0,00	0,00	0,00	0,70	561,00	0,80	15,80	0,00	348,30	0,00	1,30	281,10
9002	560869	4120971	Tahal	Sondeo venta los chopos	0,00	3,10	1,10	1,00	260,00	0,00	41,40	0,00	18,90	0,00	0,00	0,00
9103	536496	4090233	Terque	Sondeo Nuevo Caype	0,00	0,70	1,80	23,30	217,40	0,00	109,70	78,00	36,10	21,90	1,70	27980,00
9506	570966	4116051	Uleila del campo	Sondeo Fuente grande	0,00	0,20	25,10	0,60	180,00	0,00	12,10	0,00	113,30	0,00	0,00	0,00

Tabla.2. Base de datos en formato Excel de las muestras que contienen radionucleidos específicos.

NR	AT	BR	BT	Mg	Mn	Hg	Ni	NOTR	Pb	K	Se	Na	Sulf	CE	pH	U234	U235	U238	RA224	RA226	RA228	Th228
	Bq/l	Bq/l	Bq/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mS/cm		mBq/l	mBq/l	mBq/l	mBq/l	mBq/l	mBq/l	mBq/l
1101	0,14	0,08	0,12	39,70	0,0	0,0	4,30	0,00	0,00	0,90	0,00	8,60	254,10	838,00	7,25	76	1,9	34	3	91	13,4	0,5
2707	0,22	0,17	0,20	23,60	0,0	0,0	1,60	30,40	0,00	0,70	2,90	77,20	39,70	936,00	7,37	142	3,4	73	24	1,64	0	4,4
2900	0,47	0,22	0,22	0,00	0,0	0,0	1,30	0,00	2,10	0,00	3,40	54,00	63,60	791,00	7,89	321	10	223	6,0	53,0	64	2
5102	0,13	0,00	0,07	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,46	150,13	776,00	7,35	111	0,00	46	0	43	0	0,00
7101	0,17	0,05	0,07	32,30	0,0	0,0	2,70	0,00	7,10	0,60	1,30	7,10	54,10	562,00	7,63	95	1,10	31	4,9	91	0,00	0,63
8803	0,30	0,21	0,39	10,10	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	337,60	117,80	1785,00	7,59	65	2,6	63	11,4	51	106	4,8
9002	0,61	0,64	0,67	17,60	0,0	0,0	2,10	0,00	0,00	0,70	3,20	31,70	20,40	514,00	7,56	2210,00	71,67	1736,67	16,33	115,00	77,33	4,70
9103	0,52	0,24	0,29	50,10	175,8	0,0	14,40	0,00	0,00	1,40	0,00	9,50	326,30	1038,00	7,25	344,00	8,40	160,00	2,90	136,00	7,80	1,27
9506	1,29	0,43	0,49	2,20	0,0	0,0	0,00	17,80	1,10	1,90	2,20	191,80	165,00	1088,00	8,22	77	1,6	31	6,6	46	36	1,6

Tabla.2. Base de datos en formato Excel de las muestras que contienen radionucleidos específicos. Continuación.

NR	Th230	Th232	PO210	Muestra	U234/238	zona
	mBq/l	mBq/l	Bq/l			
1101	0,32	0,11	0,49	30801	2,24	ANDARAX
2707	0,55	0	2,3	30797	1,95	FILABRES
2900	1,1	0,00	6,90	38975	1,44	FILABRES
5102	13	0,00	7,00	31221	2,41	ANDARAX
7101	0,67	0,20	6,20	30899	3,06	ANDARAX
8803	0,53	0	0,87	30970	1,03	FILABRES
9002	0,61	0,03	2,83	30782	1,27	FILABRES
9103	0,49	0,09	0,34	30827	2,15	ANDARAX
9506	0,49	0,14	2,6	33181	2,48	FILABRES

Tabla.2. Base de datos en formato Excel de las muestras que contienen radionucleidos específicos. Continuación.

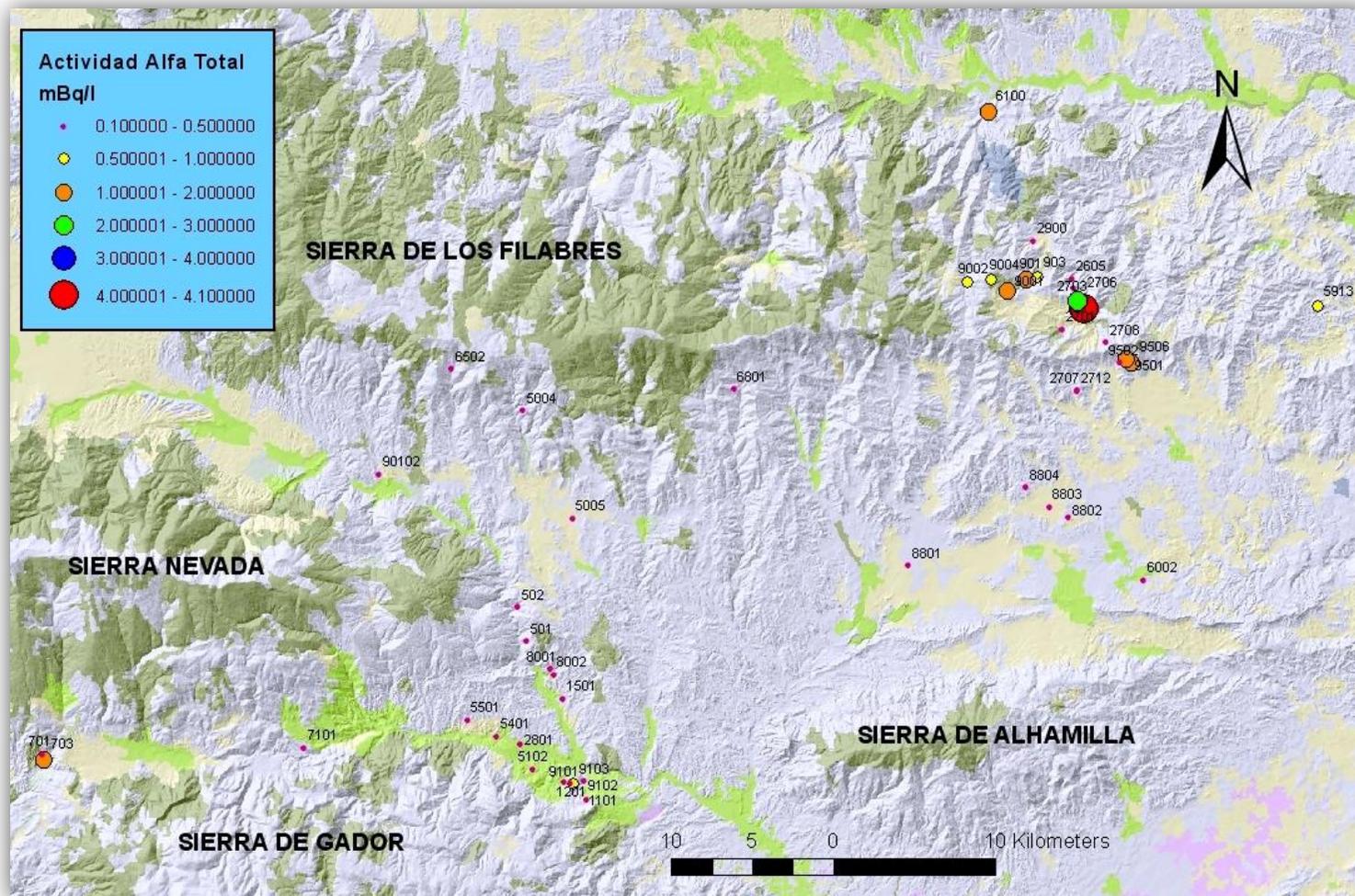


Fig. 3. Distribución geográfica de los puntos de agua representados según su índice de actividad alfa total.

ANEXO 3. Resultados.

3.1. Diagrama de Piper de todos los puntos de agua.

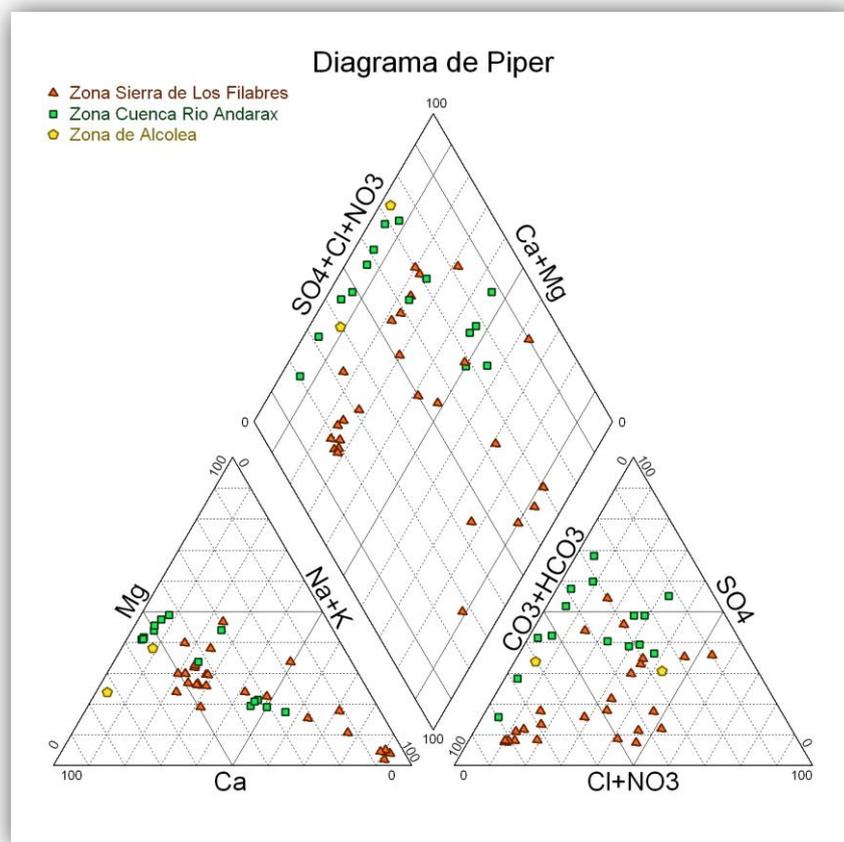


Fig. 1. Diagrama de Piper de todas las muestras de agua del presente estudio.

3.2. Diagrama de Piper de todos los puntos de agua de la zona del Río Andarax.

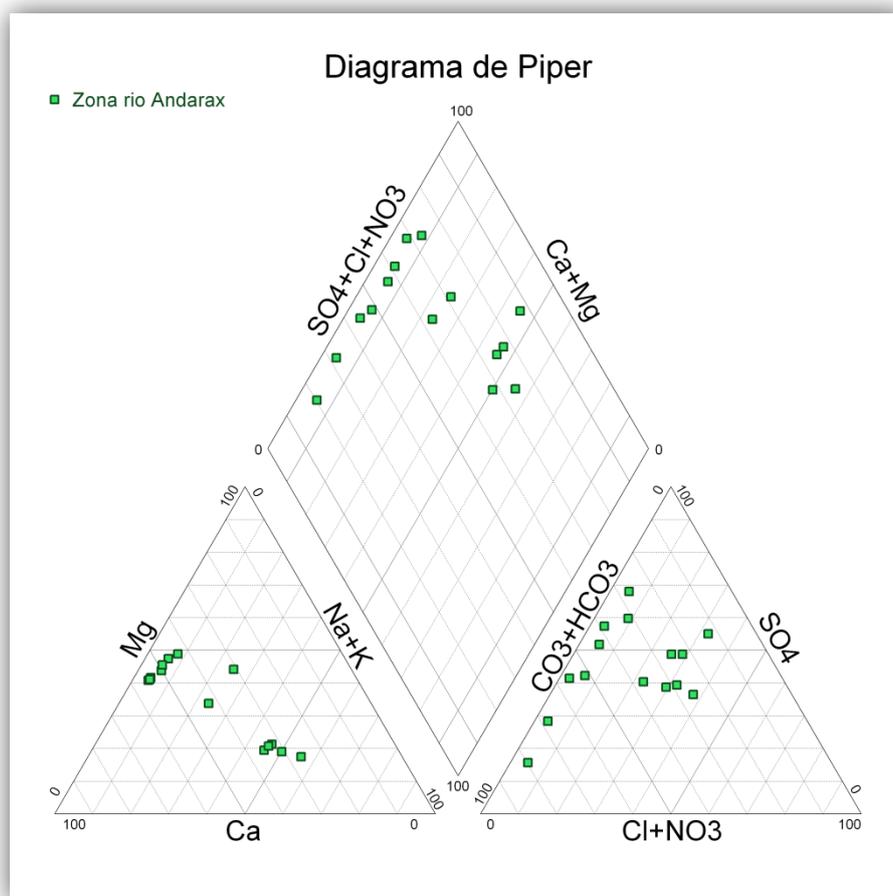


Fig. 2. Diagrama de Piper de las muestras de agua de la zona del río Andarax.

3.3. Diagrama de Piper de todos los puntos de agua de la zona de la Sierra de Los Filabres

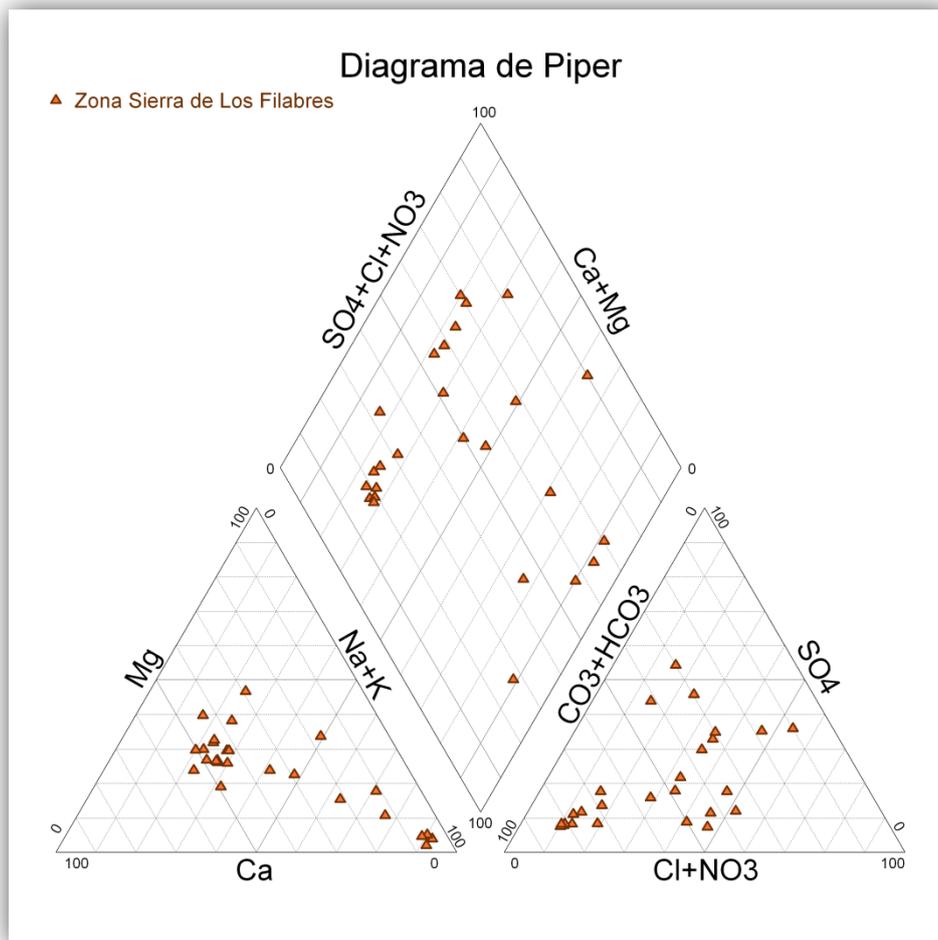


Fig. 3. Diagrama de Piper de las muestras de agua de la zona de la Sierra de Los Filabres.

3.4. ACP y clúster de todas las muestras y elementos químicos respecto de la α_T , β_T y B_r .

```

Analysis Summary

Data variables:
  Al      NH      Sb      As
  BICA    B       Ca      Cn
  Cl      Cu      F       Fe
  AT      BR      BT      Mg
  Mn      Hg      Ni      NOTR
  Pb      K       Se      Na
  Sulf

Data input: observations
Number of complete cases: 42
Missing value treatment: listwise
Standardized: yes

Number of components extracted: 8

-----
Principal Components Analysis
-----
Component          Percent of          Cumulative
Number            Eigenvalue          Variance            Percentage
  1                5.29798            21.192             21.192
  2                4.01925            16.077             37.269
  3                3.18706            12.748             50.017
  4                1.86191            7.448              57.465
  5                1.85653            7.426              64.891
  6                1.38403            5.536              70.427
  7                1.19121            4.765              75.192
  8                1.00659            4.026              79.218
  9                0.894638           3.579              82.797
 10                0.846914           3.388              86.184
 11                0.732441           2.930              89.114
 12                0.609862           2.439              91.554
 13                0.478466           1.914              93.468
 14                0.459802           1.839              95.307
 15                0.27998            1.120              96.427
 16                0.22059            0.882              97.309
 17                0.166714           0.667              97.976
 18                0.148618           0.594              98.570
 19                0.121178           0.485              99.055
 20                0.103848           0.415              99.470
 21                0.0769009          0.308              99.778
 22                0.0307836          0.123              99.901
 23                0.0189461          0.076              99.977
 24                0.00567947         0.023             100.000
 25                0.0000695918      0.000             100.000
-----

```

Fig. 4 ACP de todas las muestras y elementos químicos.

Scatterplot (todas las muestras de agua y componentes)

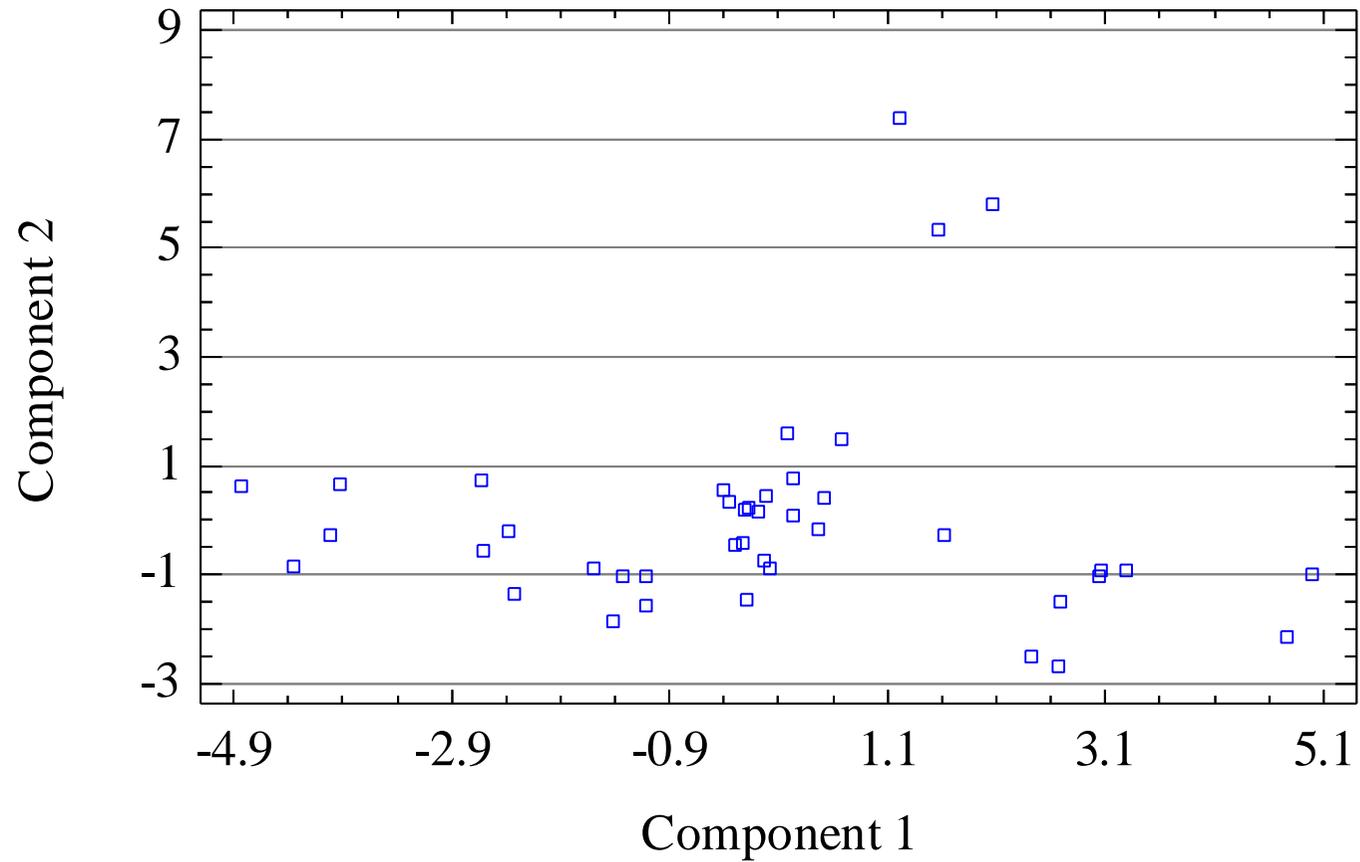


Fig. 5 Diagrama de dispersión de todas las muestras y todos los elementos.

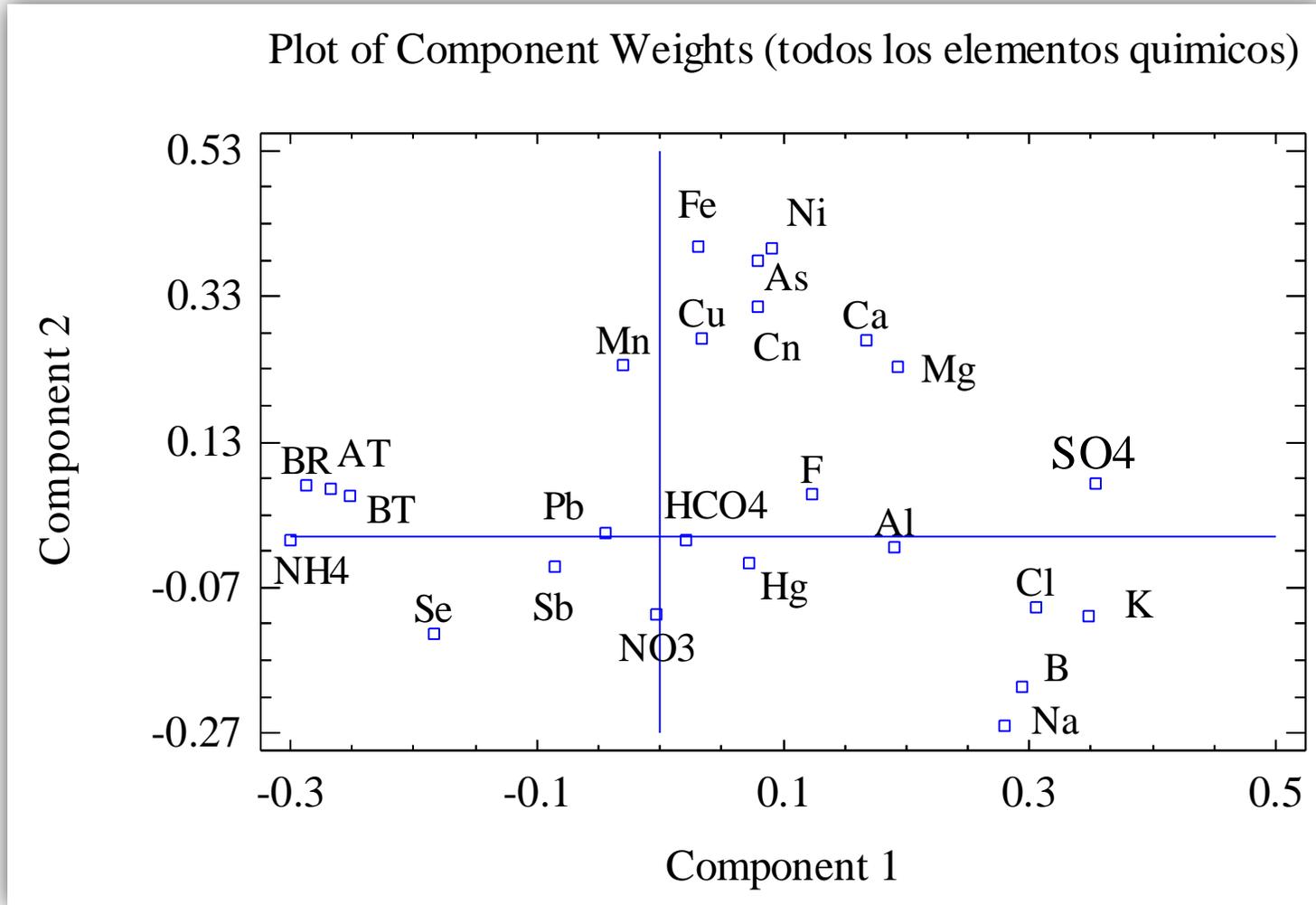


Fig. 6 Gráfico del peso de todas las muestras y todos los elementos entre sí.

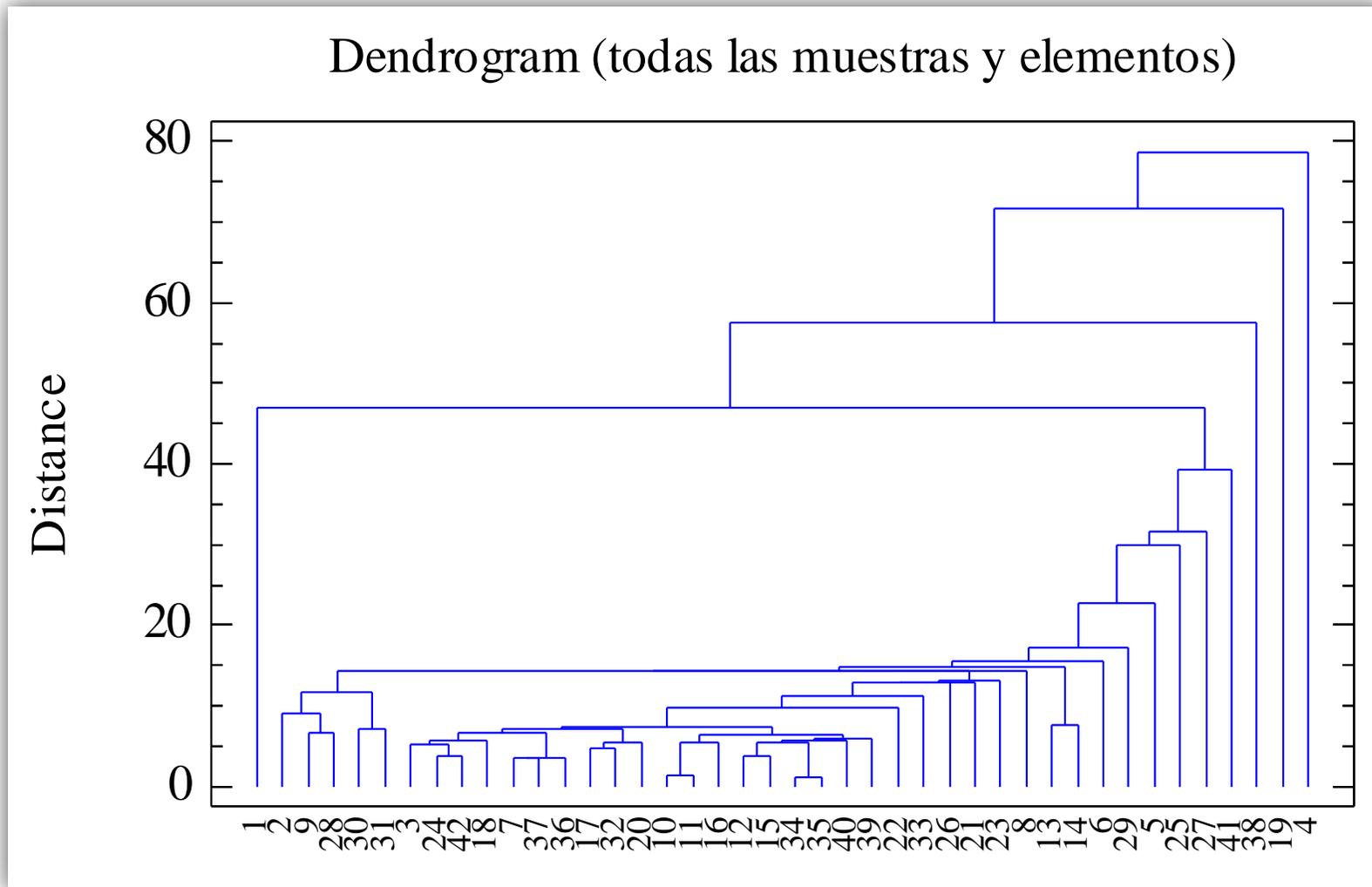


Fig. 7 Dendrograma de todas las muestras y todos los elementos

3.5. ACP y clúster de todas las muestras y los elementos mayoritarios respecto de la α_T , β_T y B_R .

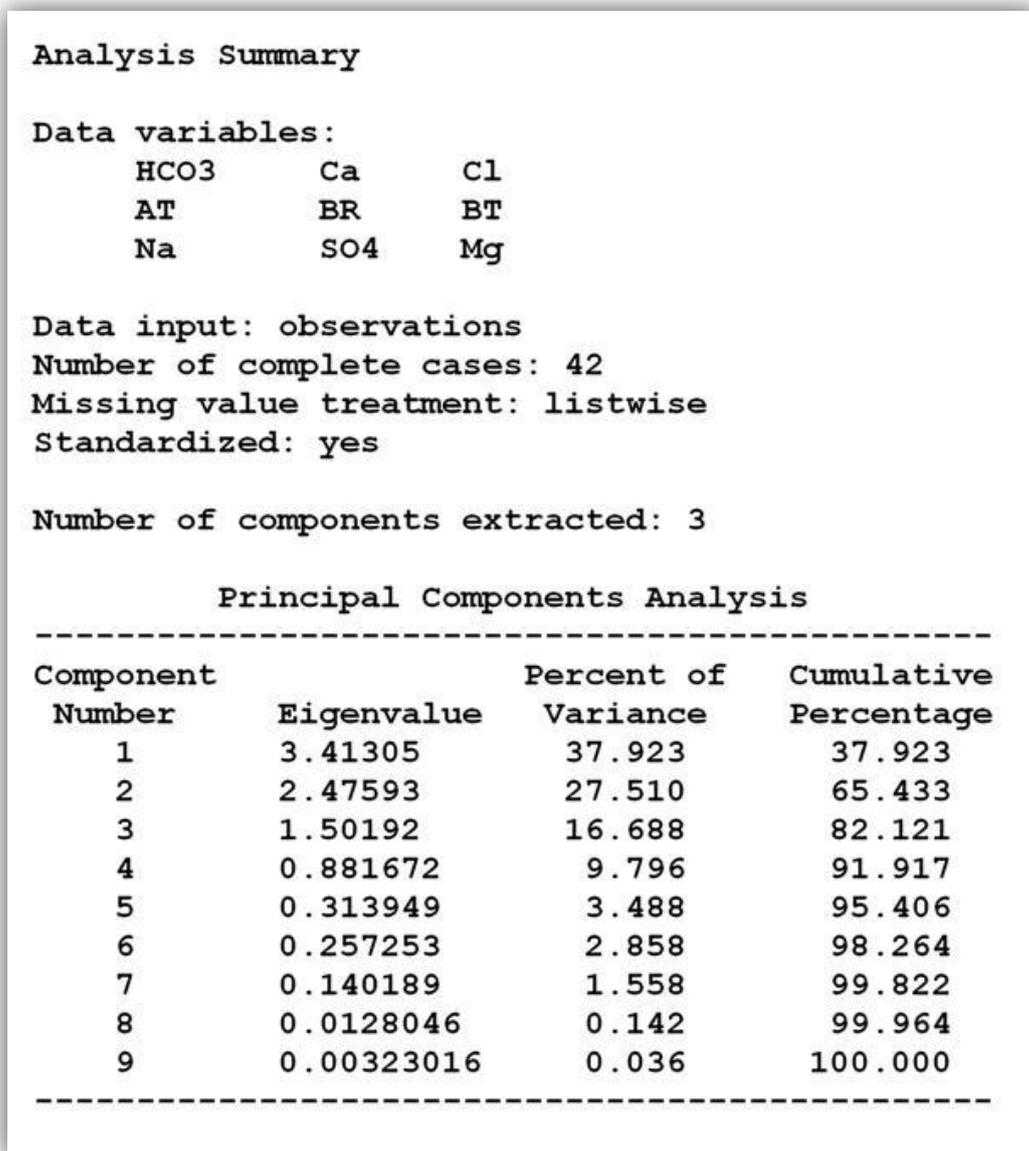


Fig. 8 ACP de todas las muestras y los elementos mayoritarios

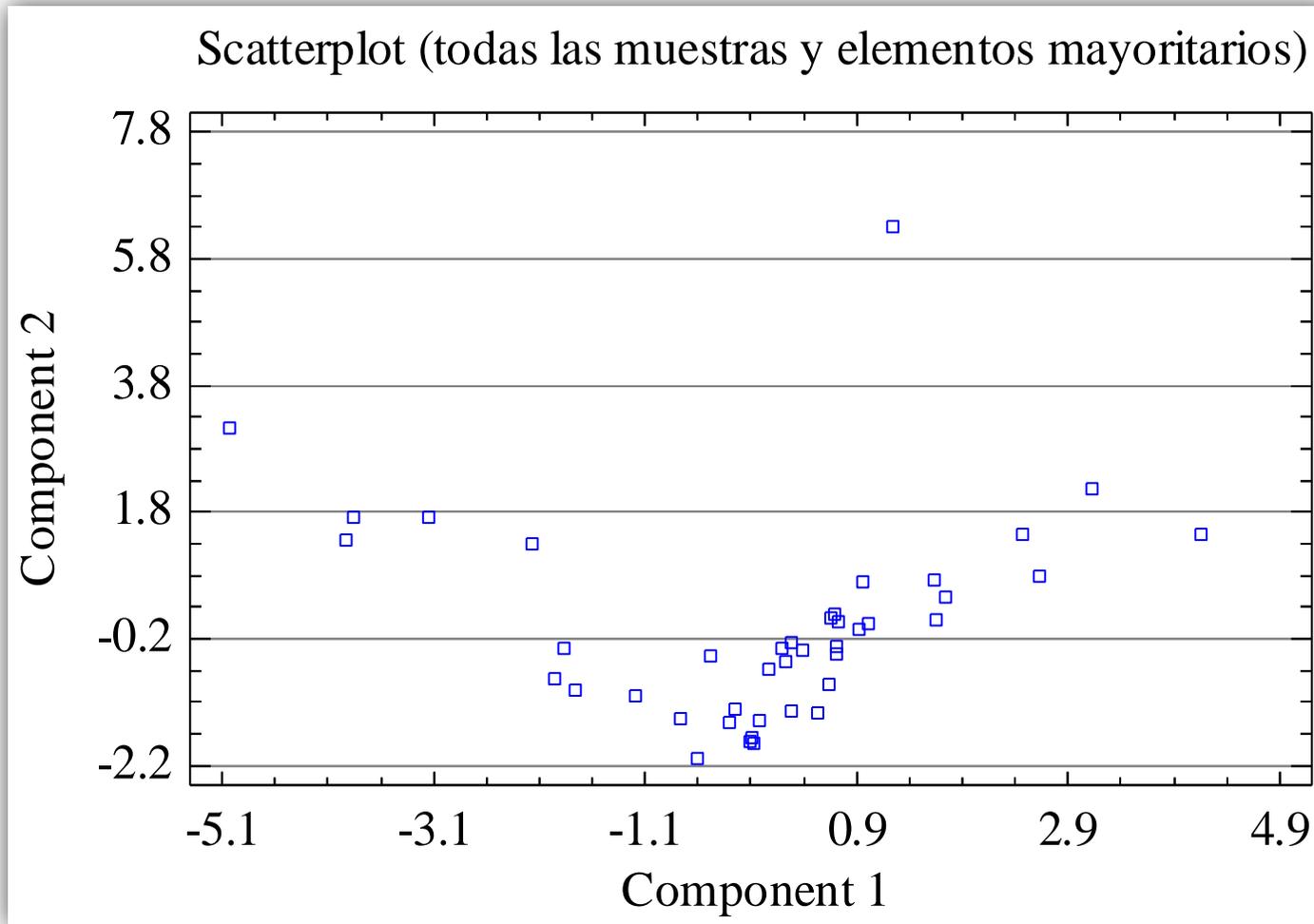


Fig. 9 Diagrama de dispersión de todas las muestras y los elementos mayoritarios.

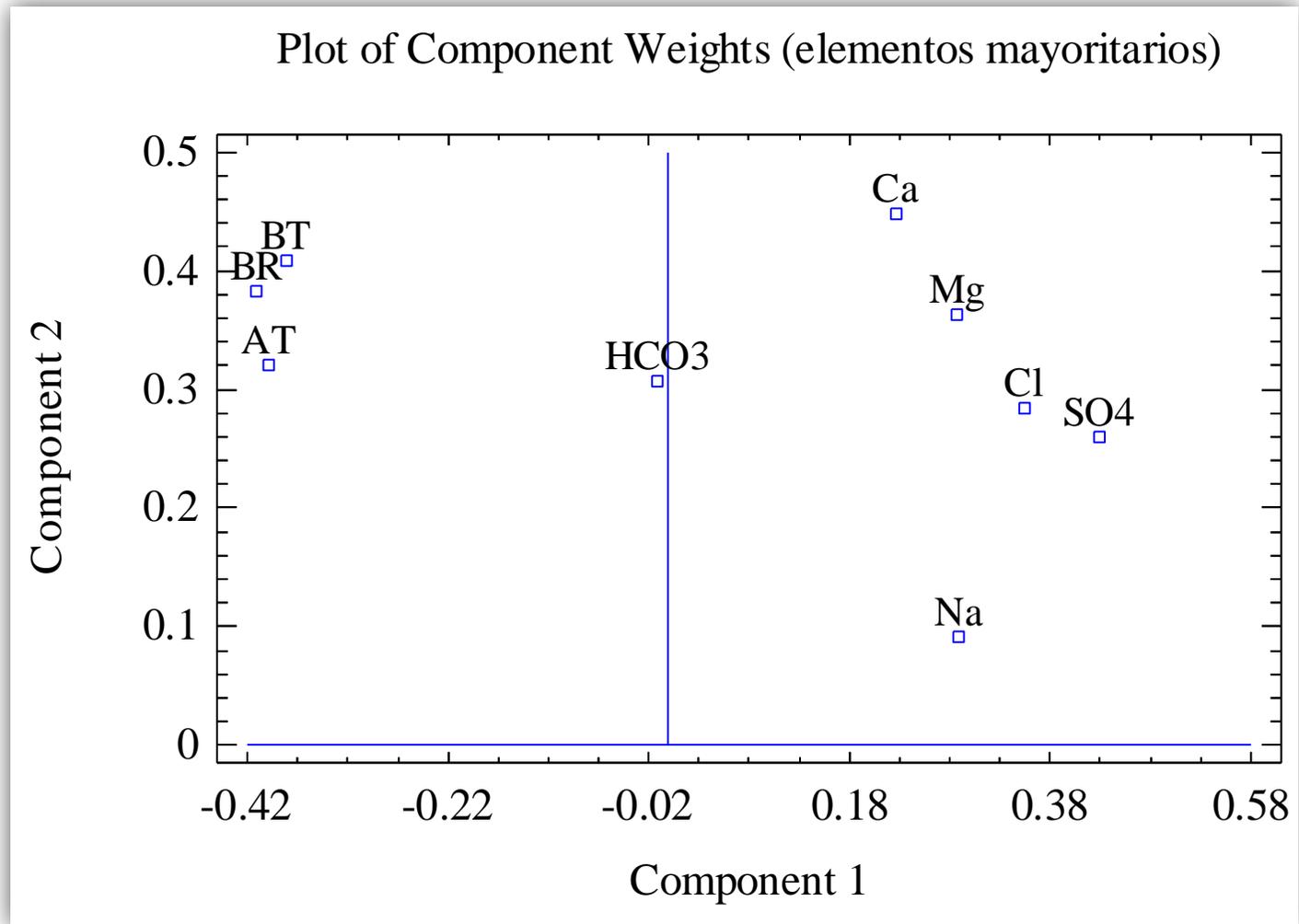


Fig. 10 Gráfico del peso de todas las muestras y los elementos mayoritarios

Dendrogram (todas las muestras y elementos mayoritarios)

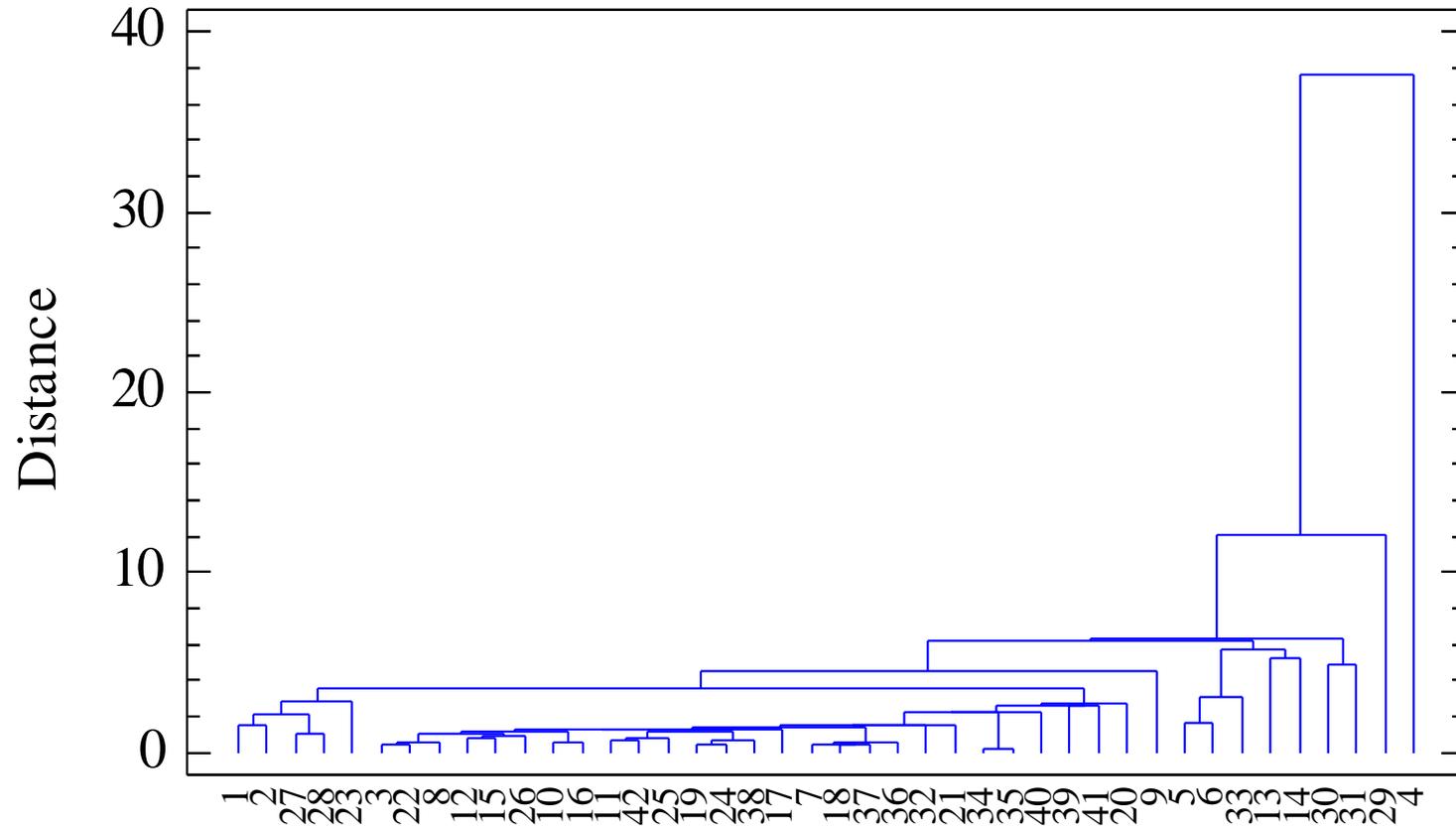


Fig. 11 Dendrograma de todas las muestras y los elementos mayoritarios

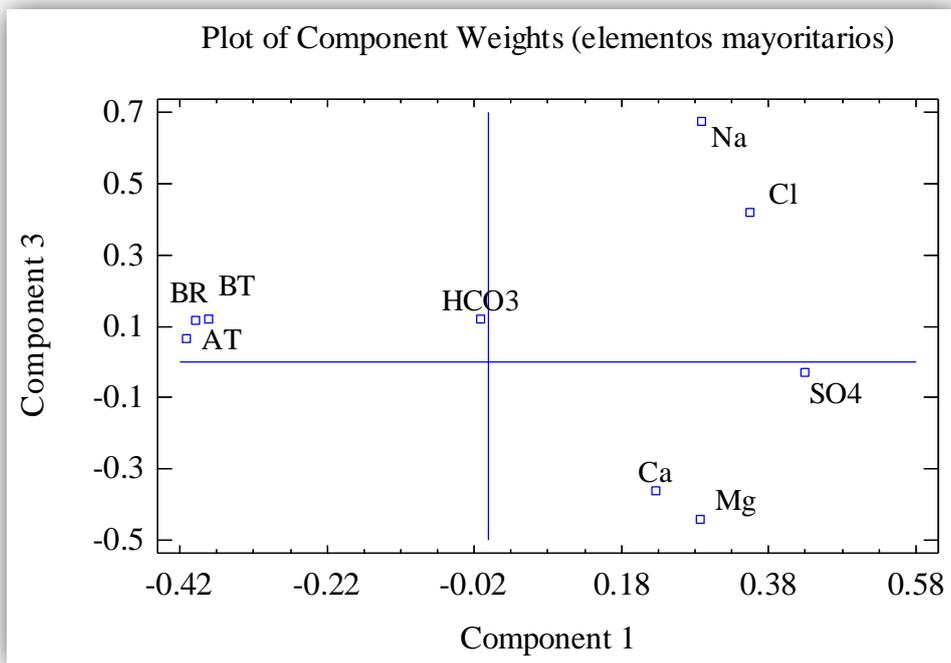


Fig. 12 Gráfico del peso de todas las muestras y los elementos mayoritarios, para los componentes 1 y 3

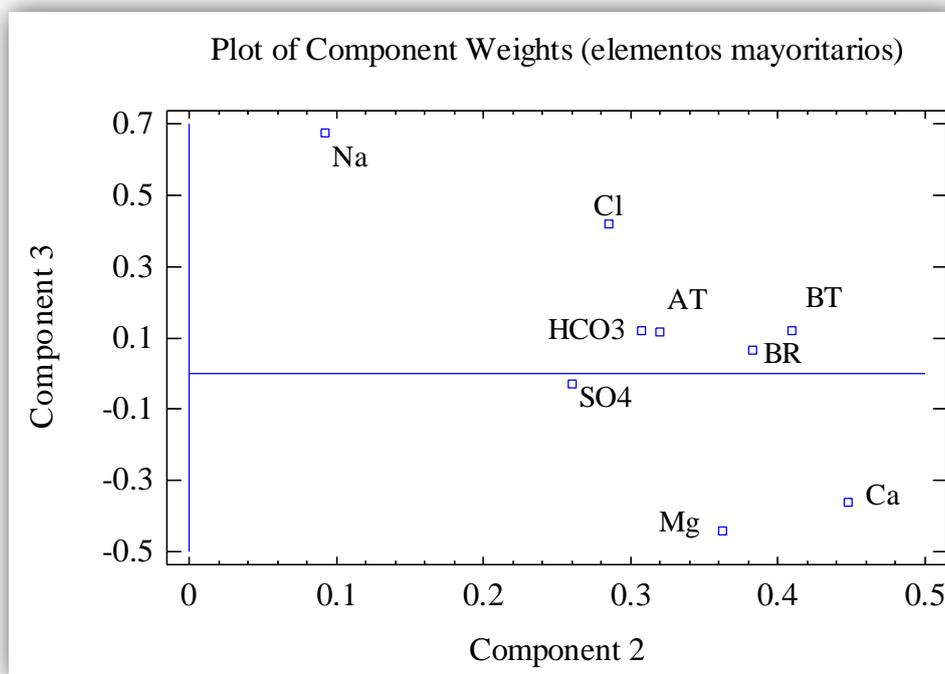


Fig. 13 Gráfico del peso de todas las muestras y los elementos mayoritarios, para los componentes 2 y 3

3.6. ACP y clúster de todas las muestras y los elementos minoritarios respecto de la α_T , β_T y B_r .

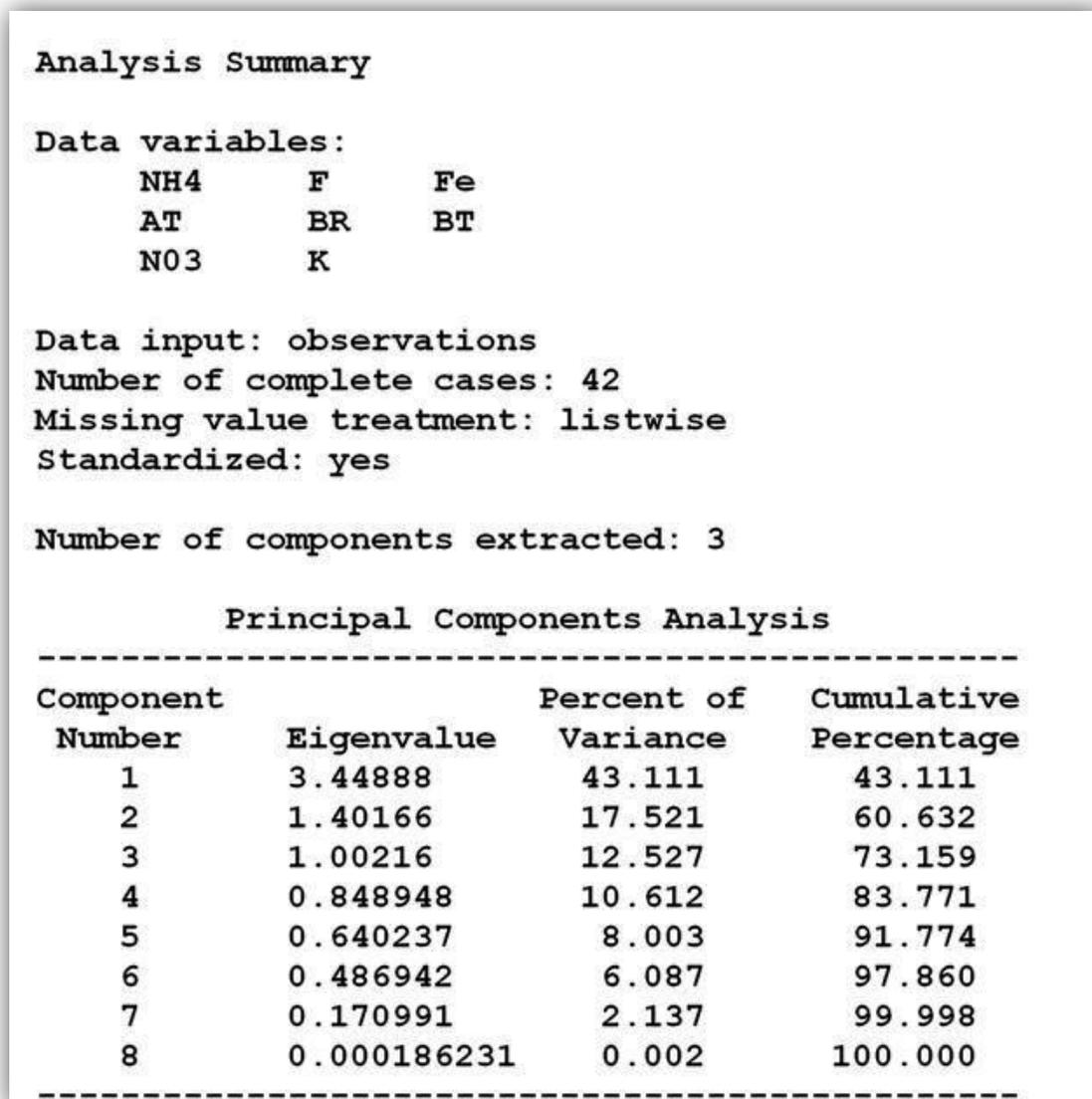


Fig. 14 ACP de todas las muestras y los elementos minoritarios

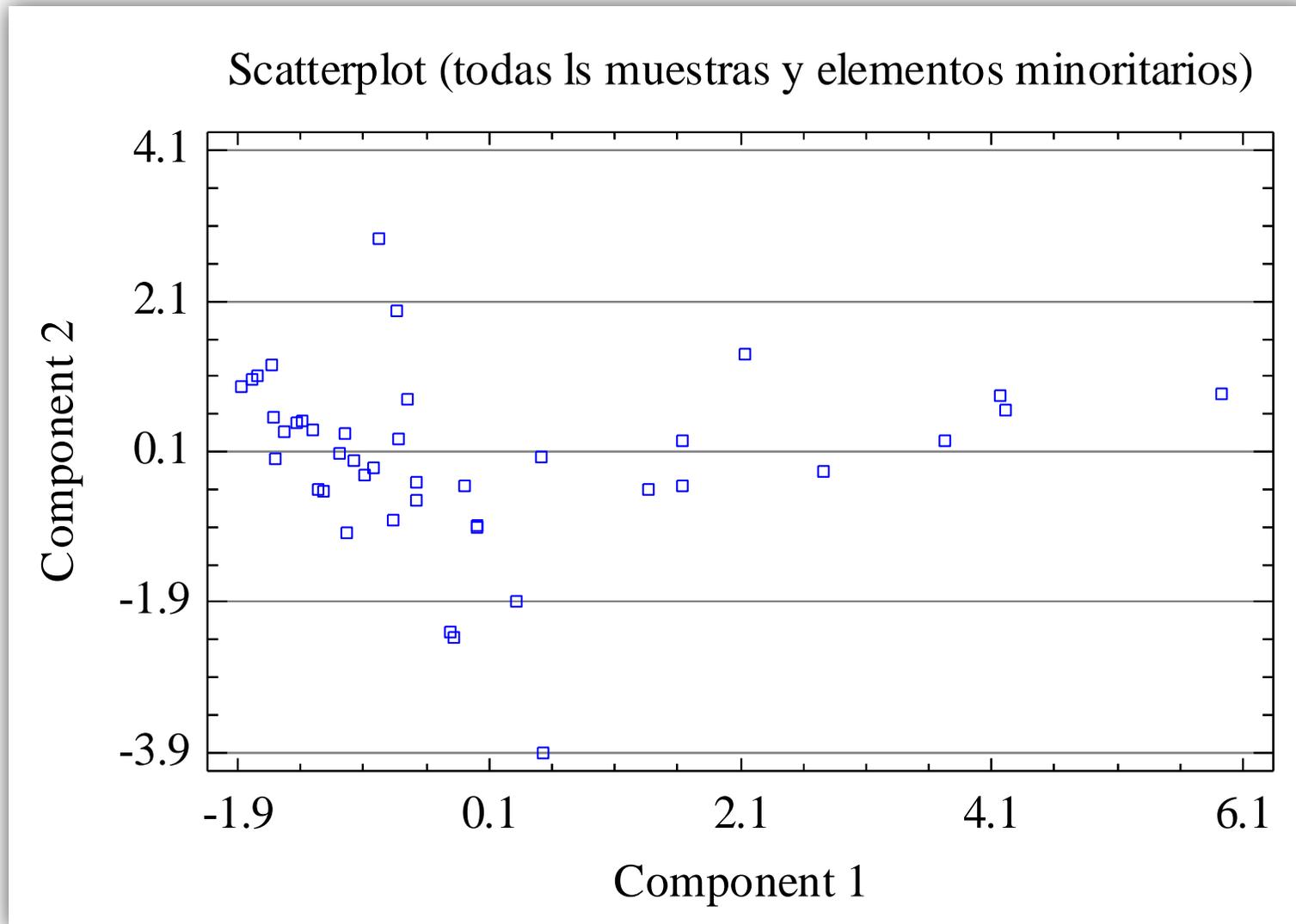


Fig. 15 Diagrama de dispersión de todas las muestras y los elementos minoritarios.

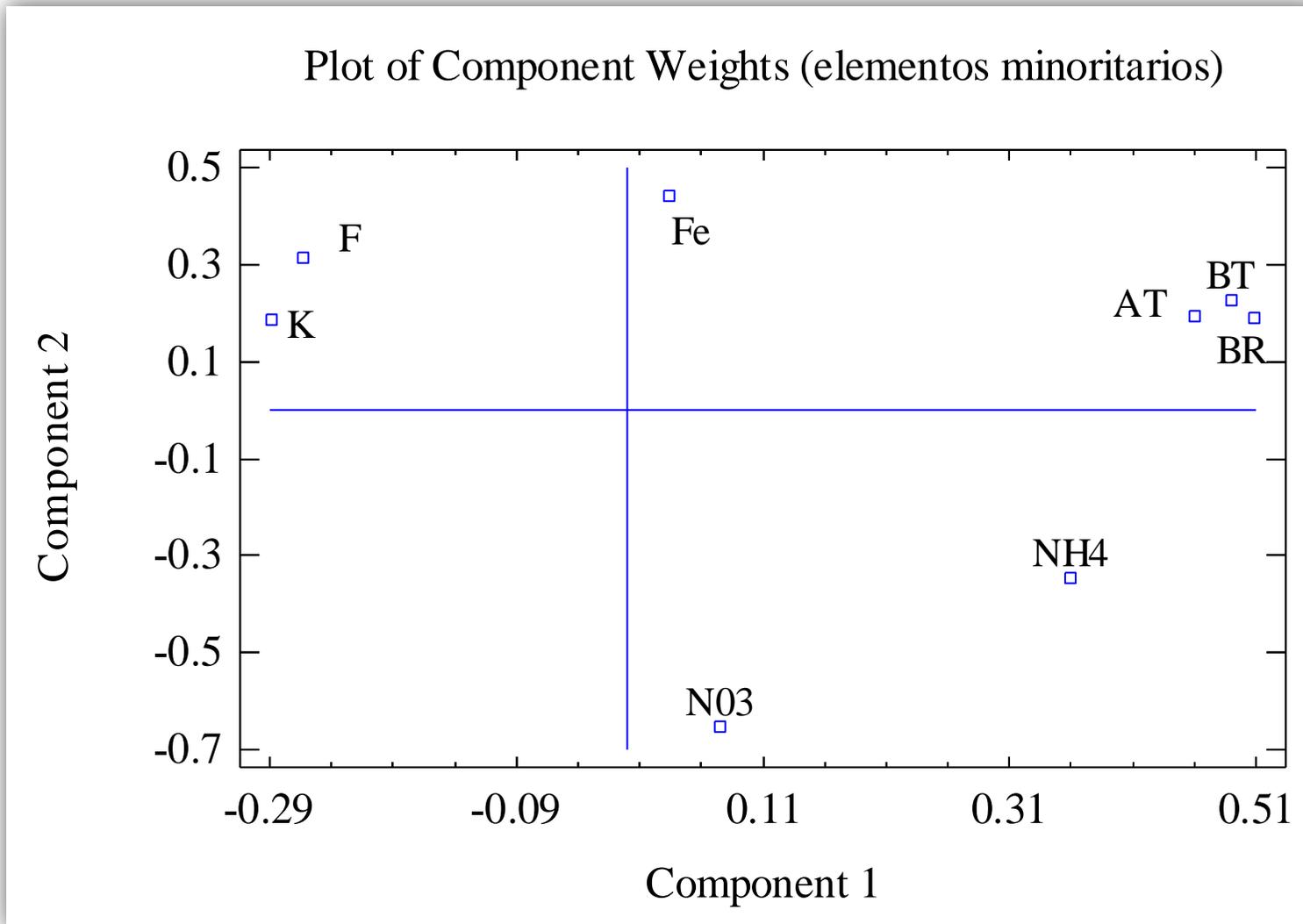


Fig. 16 Gráfico del peso de todas las muestras y los elementos minoritarios

Dendrogram (todas la muestras y elementos minoritarios)

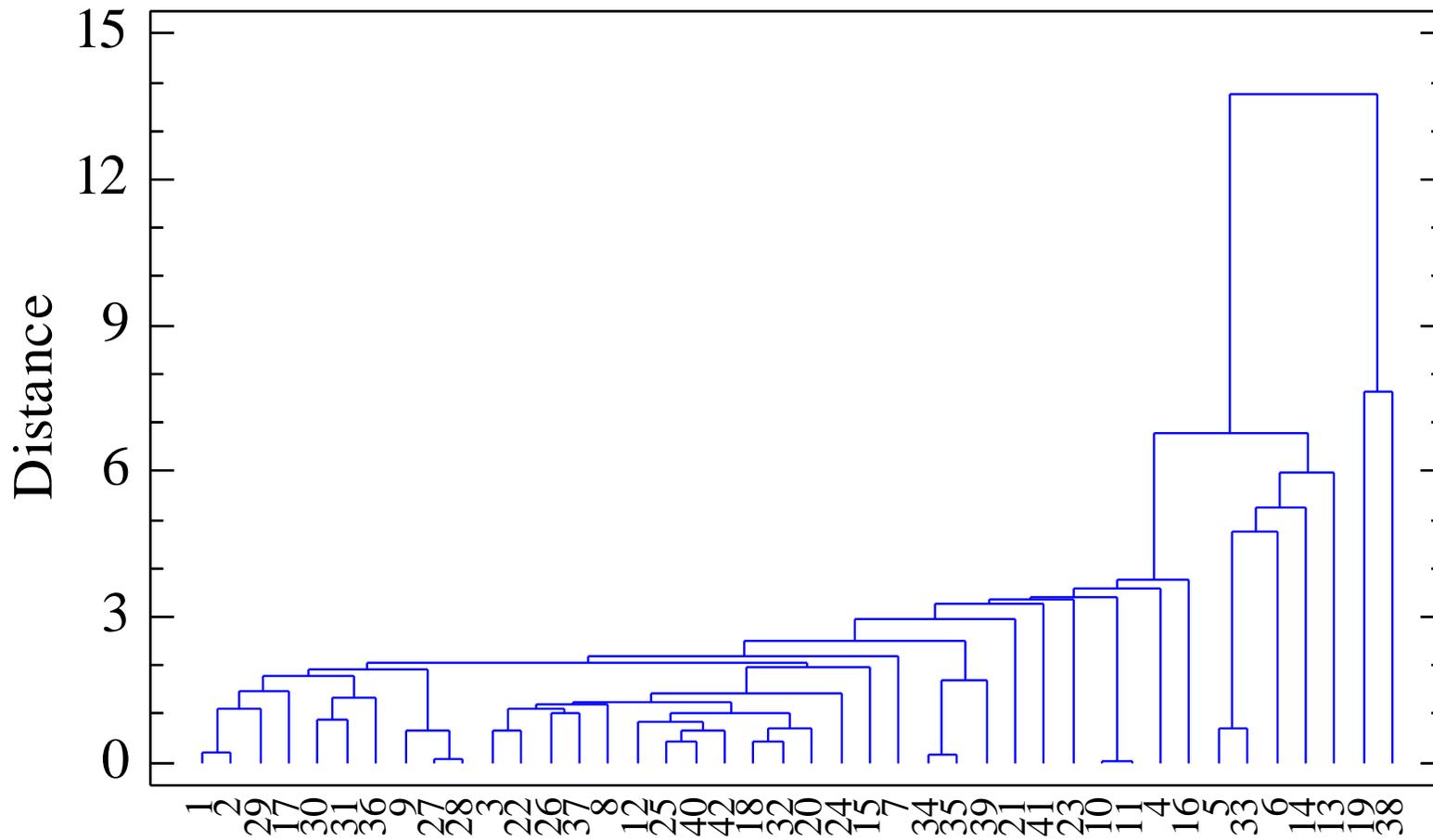


Fig. 17 Dendrograma de todas las muestras y los elementos minoritarios

3.7. ACP y clúster de todas las muestras y los elementos traza respecto de la α_T , β_T y B_R .

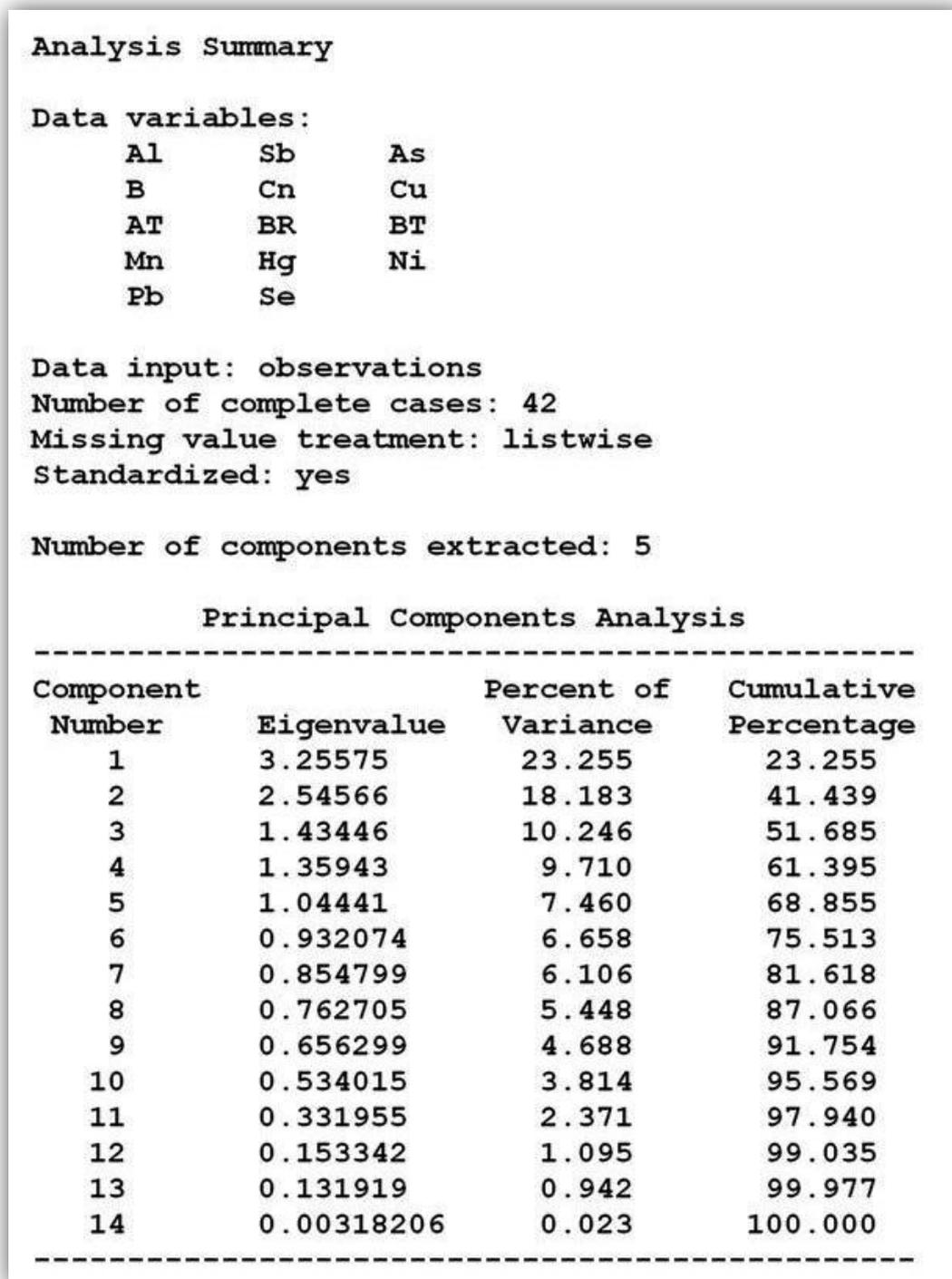


Fig. 18 ACP de todas las muestras y los elementos traza

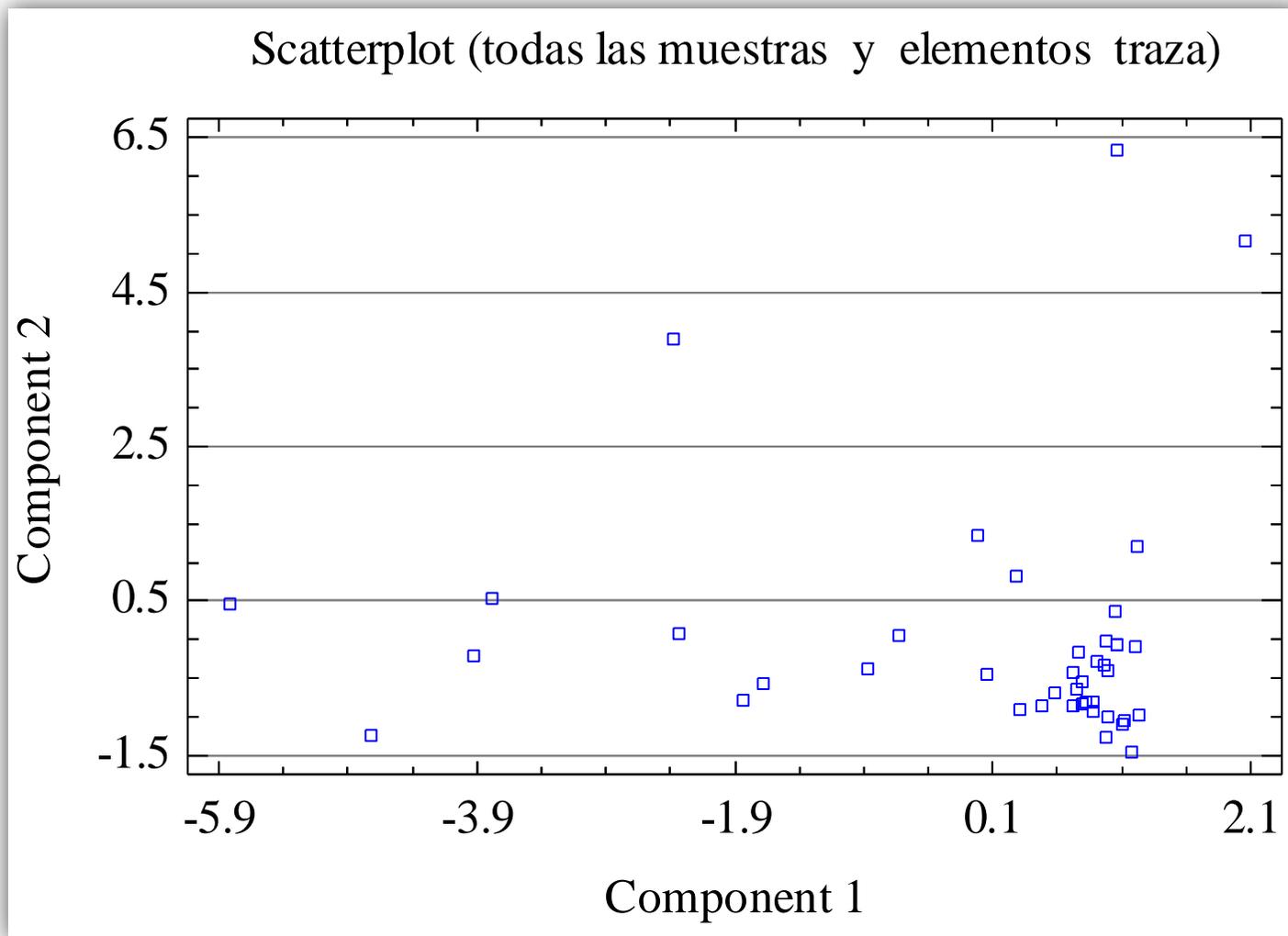


Fig.1 9 Diagrama de dispersión de todas las muestras y los elementos traza.

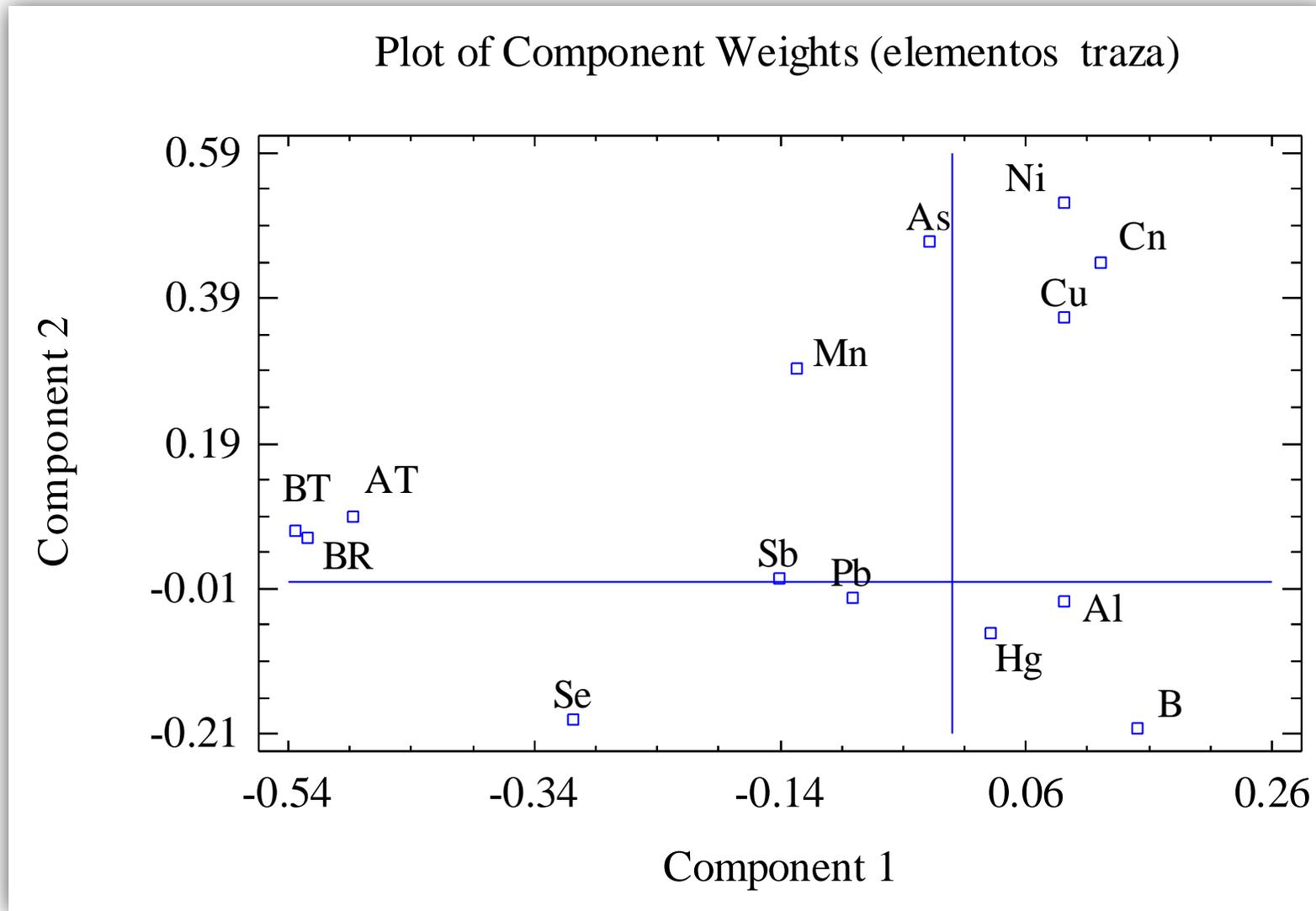


Fig. 20 Gráfico del peso de todas las muestras y los elementos traza

Dendrogram (todas las muestras y elementos traza)

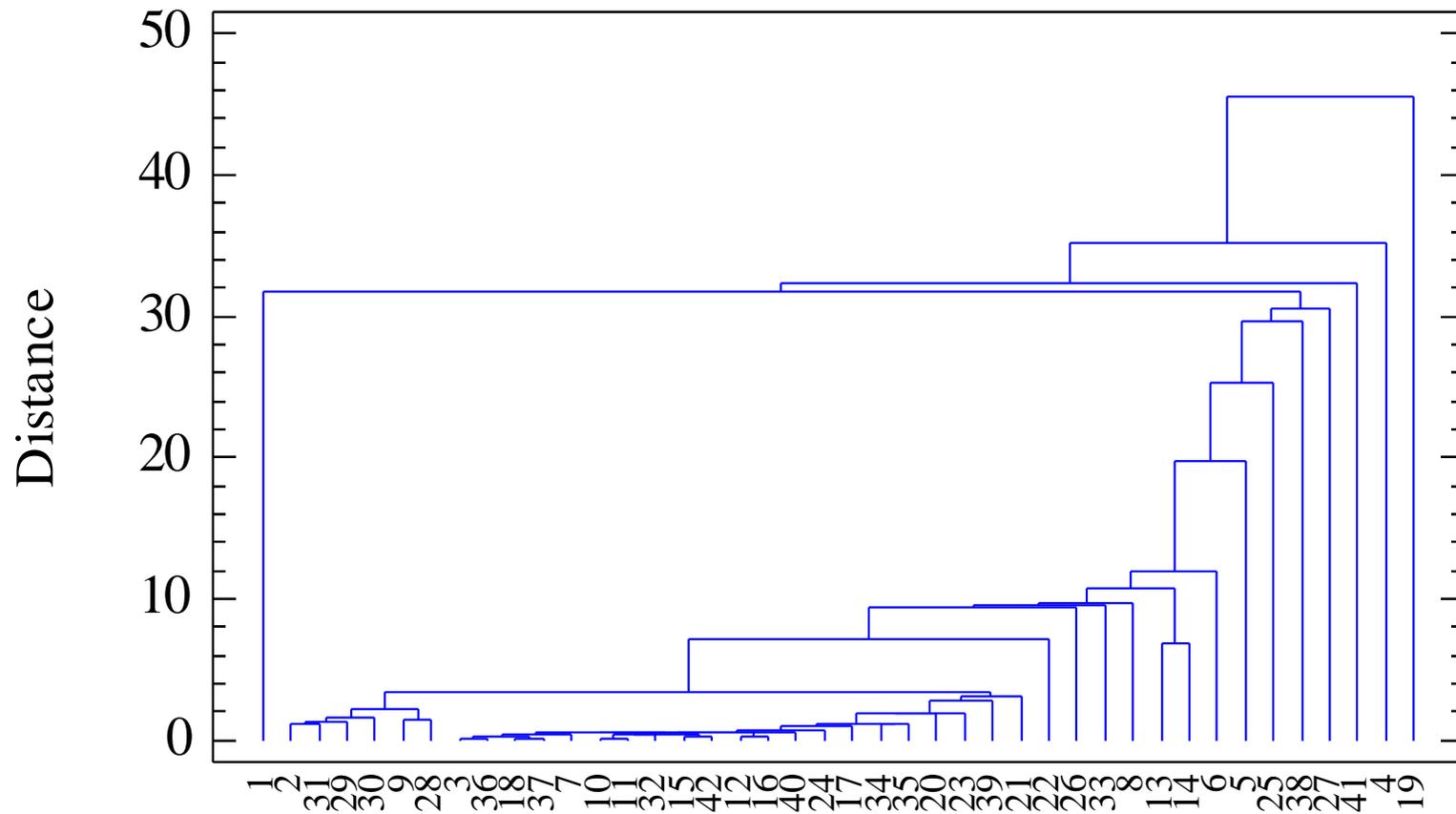


Fig. 21 Dendrograma de todas las muestras y los elementos traza

3.8. ACP y clúster de todas las muestras, conductividad y pH respecto de la α_T , β_T y B_R .

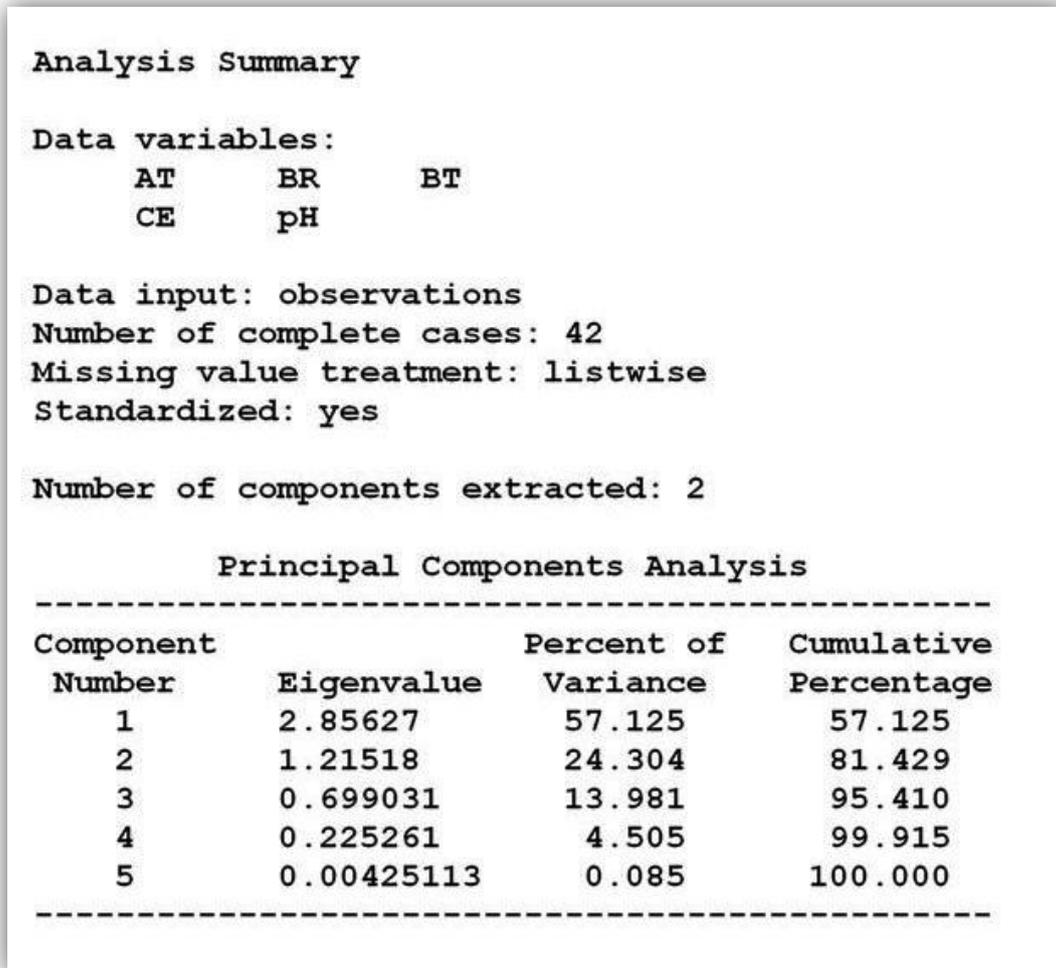


Fig. 22 ACP de todas las muestras, conductividad y pH

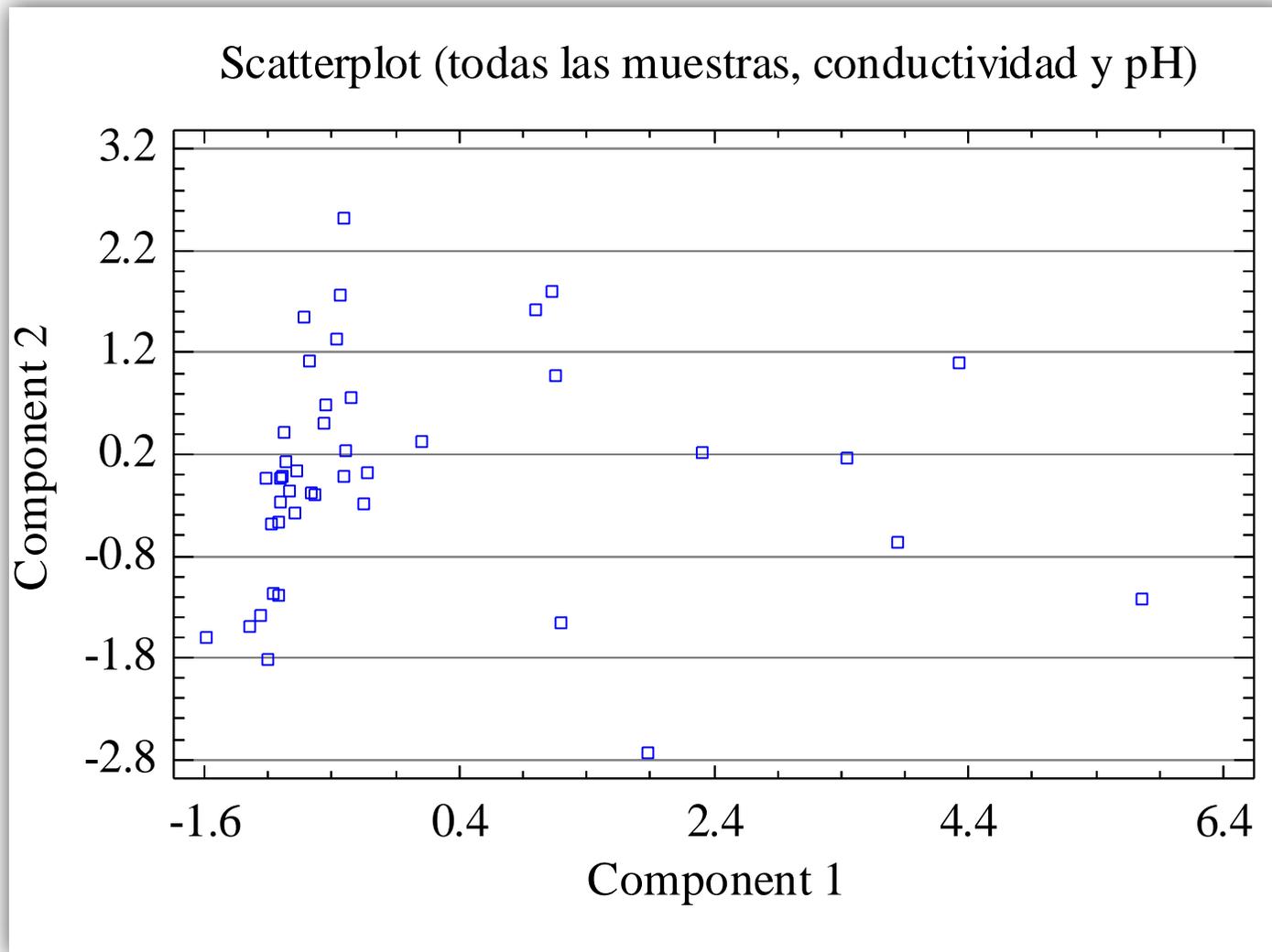


Fig. 23 Diagrama de dispersión de todas las muestras, conductividad y pH.

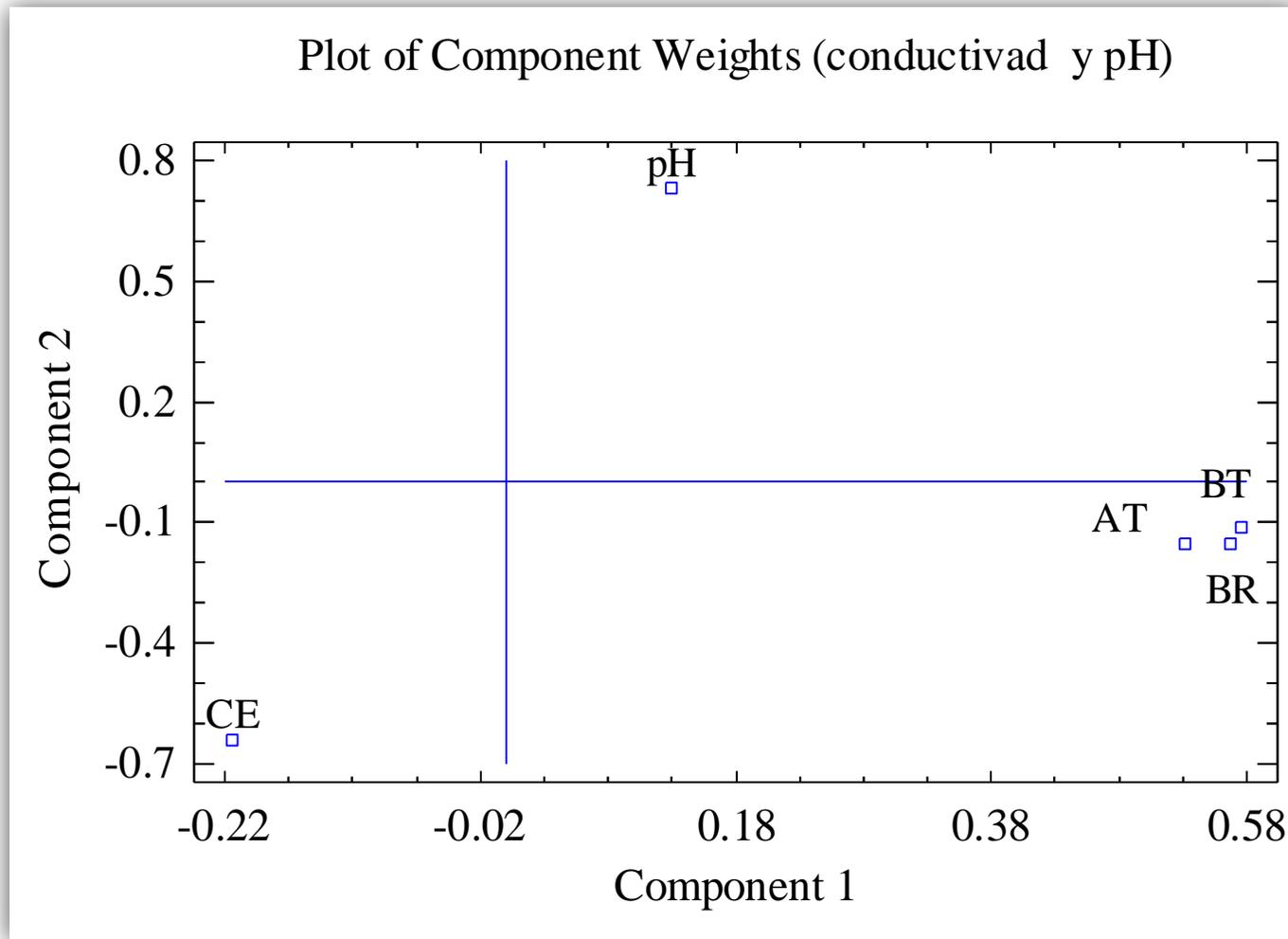


Fig. 24 Gráfico del peso de todas las muestras, conductividad y pH

Dendrogram (todas las muestras, conductividad y pH)

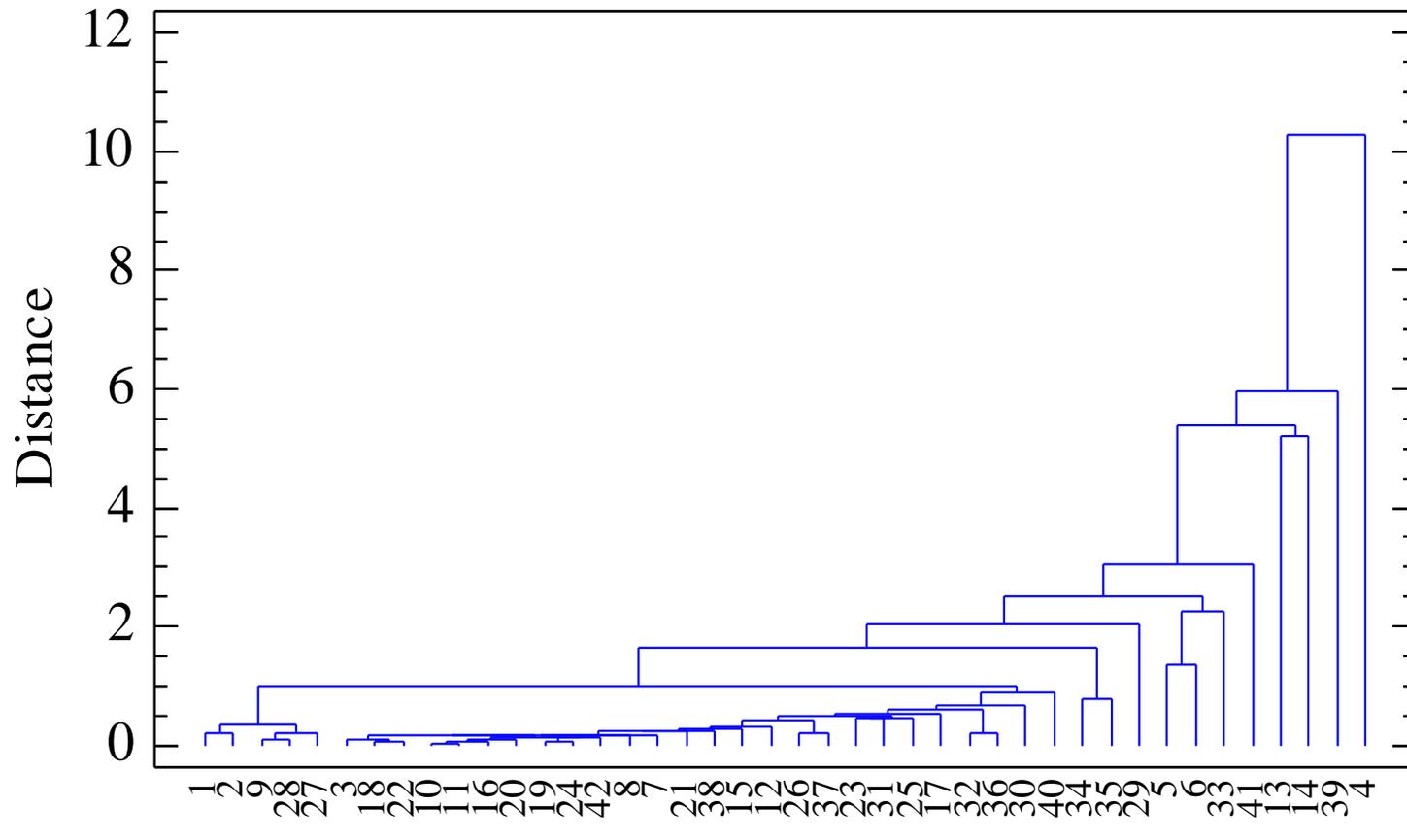


Fig. 25 Dendrograma de todas las muestras, conductividad y pH

3.9. ACP y clúster de las muestras de la zona de Los Filabres respecto a la α_T , β_T y B_R .

Analysis Summary

Data variables:

NH4	Sb	As	HCO3
Ca	Cl	F	Fe
AT	BR	BT	Mg
Mn	Ni	NO3	K
Se	Na	Sulf	CE
pH			

Data input: observations

Number of complete cases: 25

Missing value treatment: listwise

Standardized: yes

Number of components extracted: 7

Principal Components Analysis

Component Number	Eigenvalue	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	6.23347	29.683	29.683
2	3.75053	17.860	47.543
3	2.72177	12.961	60.504
4	2.14019	10.191	70.695
5	1.44728	6.892	77.587
6	1.40403	6.686	84.273
7	1.00554	4.788	89.061
8	0.765269	3.644	92.705
9	0.491641	2.341	95.046
10	0.288487	1.374	96.420
11	0.251162	1.196	97.616
12	0.164559	0.784	98.400
13	0.092144	0.439	98.838
14	0.0769003	0.366	99.205
15	0.0666859	0.318	99.522
16	0.0565322	0.269	99.791
17	0.0298237	0.142	99.933
18	0.00912849	0.043	99.977
19	0.00349188	0.017	99.993
20	0.00136352	0.006	100.000
21	0.0000136051	0.000	100.000

Fig. 26 ACP de las muestras de la zona de la Sierra de Los Filabres

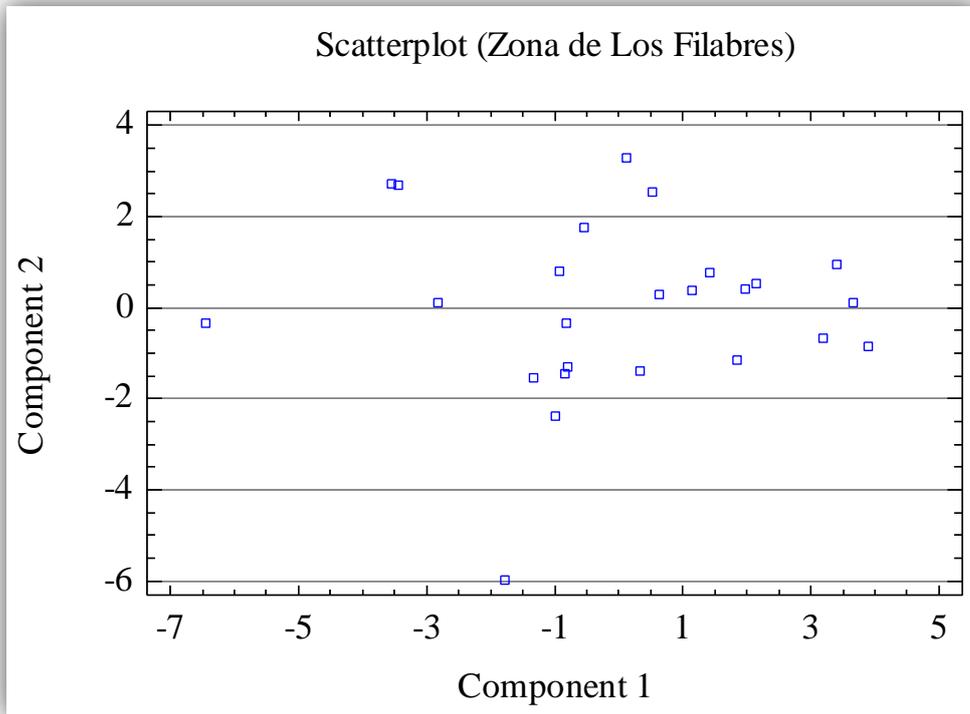


Fig. 27 Diagrama de dispersión de las muestras de la zona de la Sierra de Los Filabres.

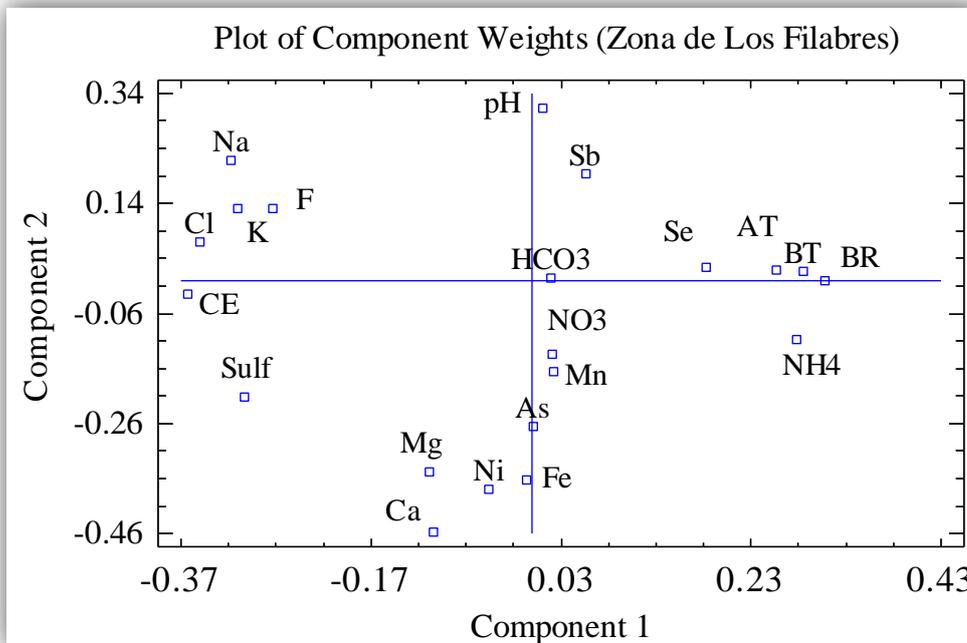


Fig. 28 Gráfico del peso de las muestras de la zona de la Sierra de Los Filabres

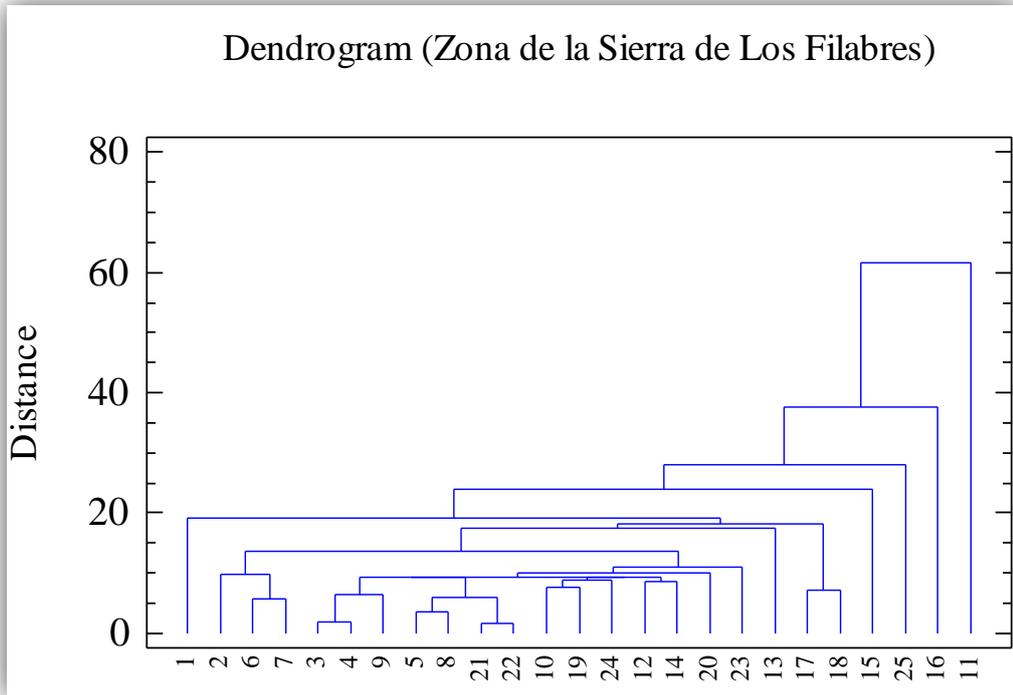


Fig. 29 Dendrograma de las muestras de la zona de la Sierra de Los Filabres

3.10.1. ACP y clúster de las muestras de la zona de la Cuenca del Río Andarax respecto a la α_T , β_T y B_r . (Solo cationes)

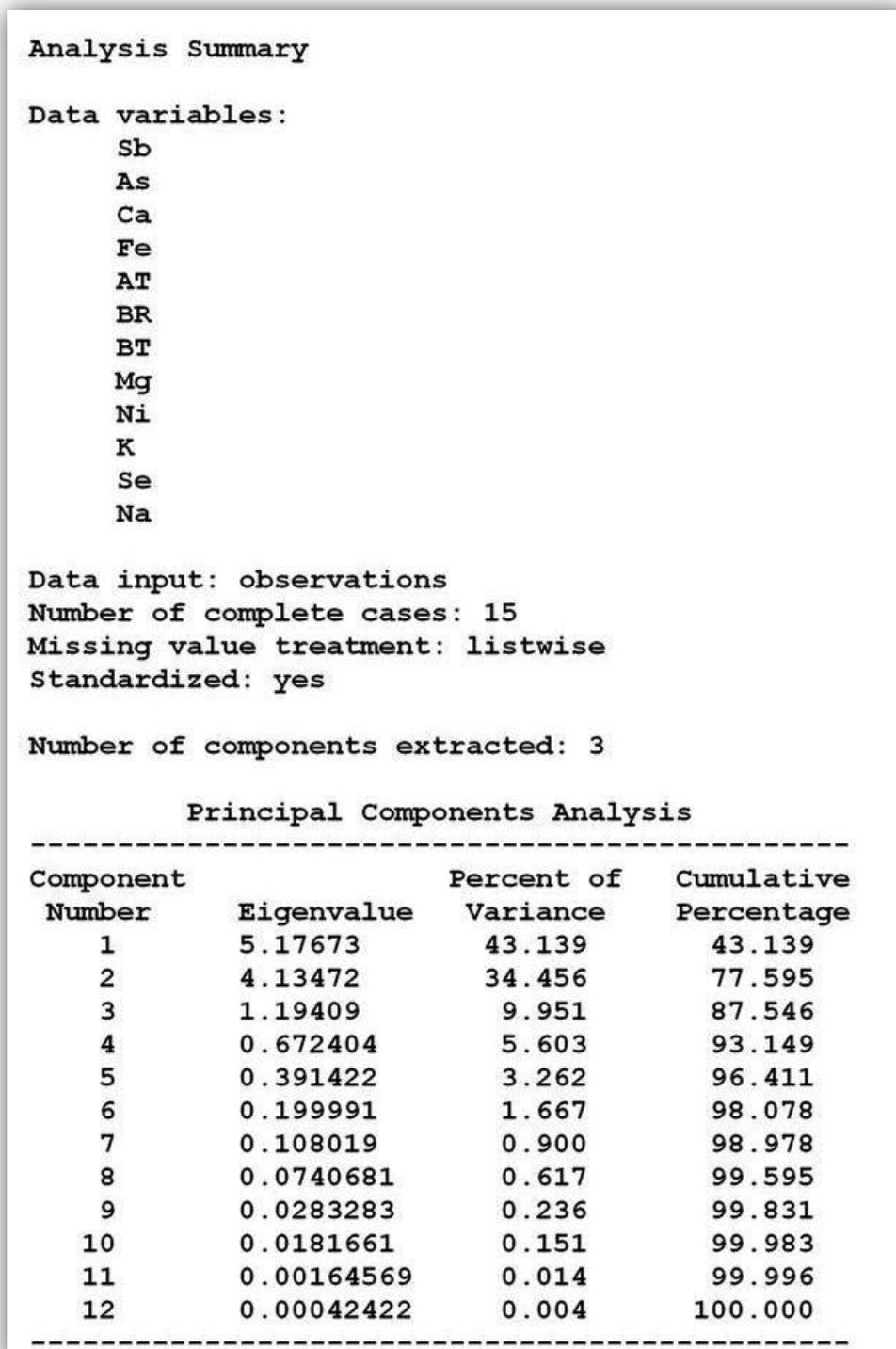


Fig. 30 ACP de las muestras de la zona de la Cuenca del Río Andarax, para cationes

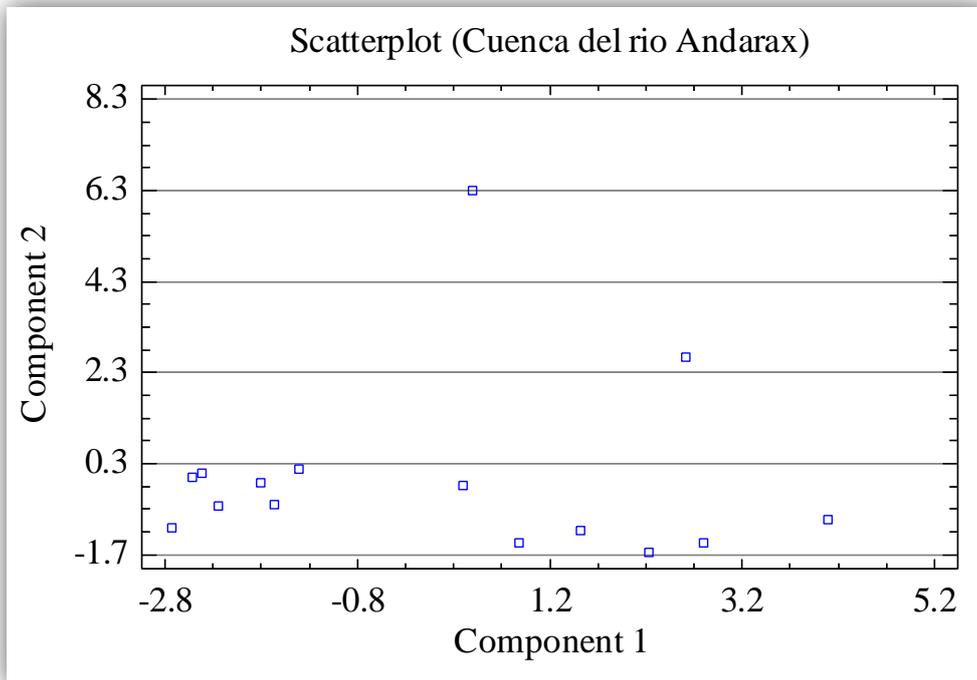


Fig. 31 Diagrama de dispersión de las muestras de la Cuenca del río Andarax, respecto de los cationes.

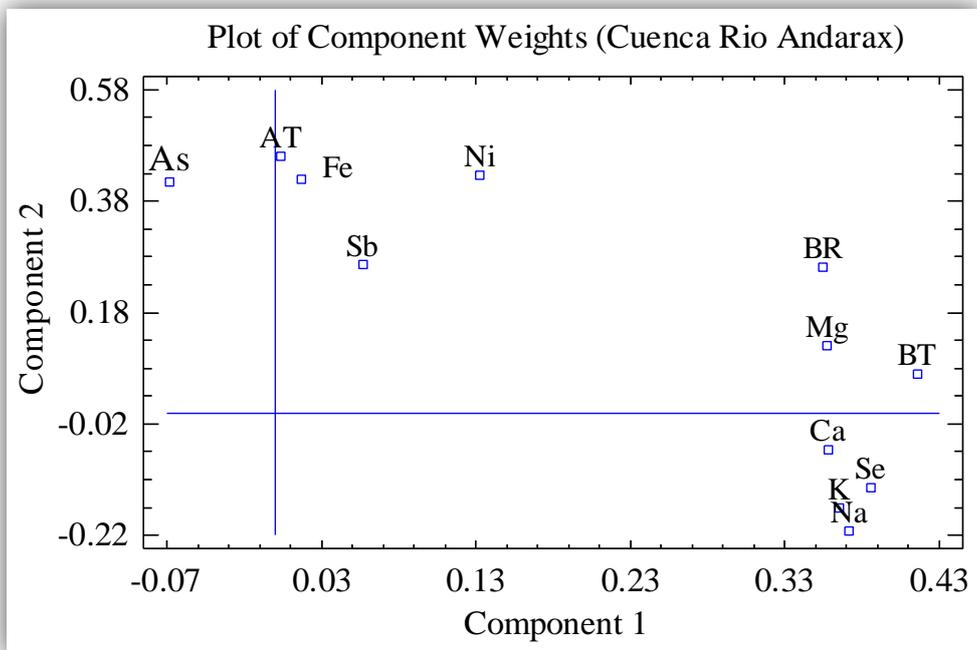


Fig. 32 Gráfico del peso de las muestras de la Cuenca del Río Andarax, respecto de los cationes

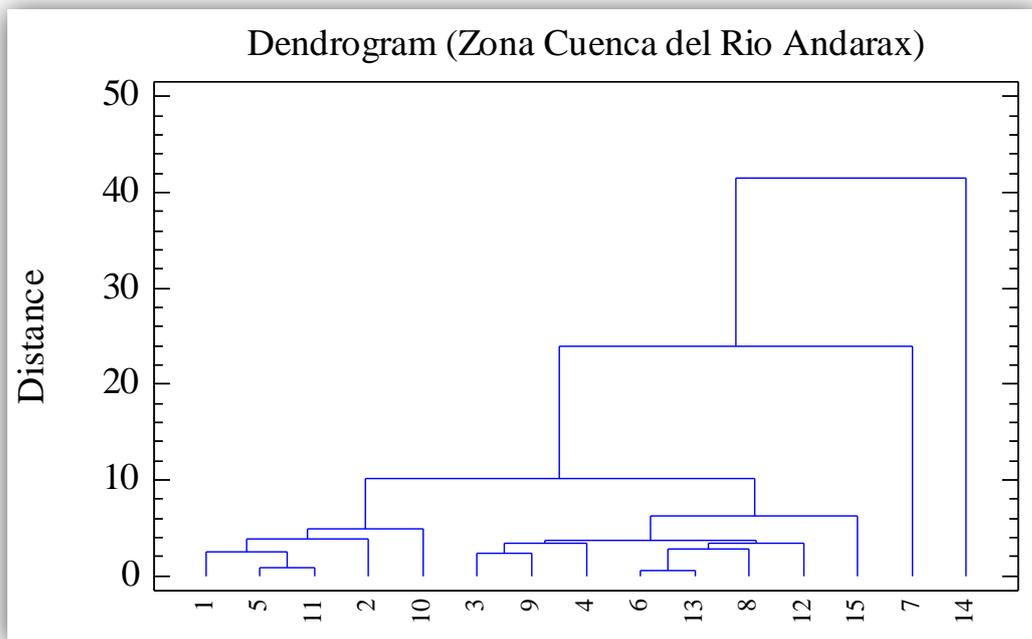


Fig. 33 Dendrograma de las muestras de la zona de la Cuenca del Río Andarax, respecto de los cationes

3.10.2. ACP y clúster de las muestras de la zona de la Cuenca del Río Andarax respecto a la α_T , β_T y B_r . (Solo aniones)

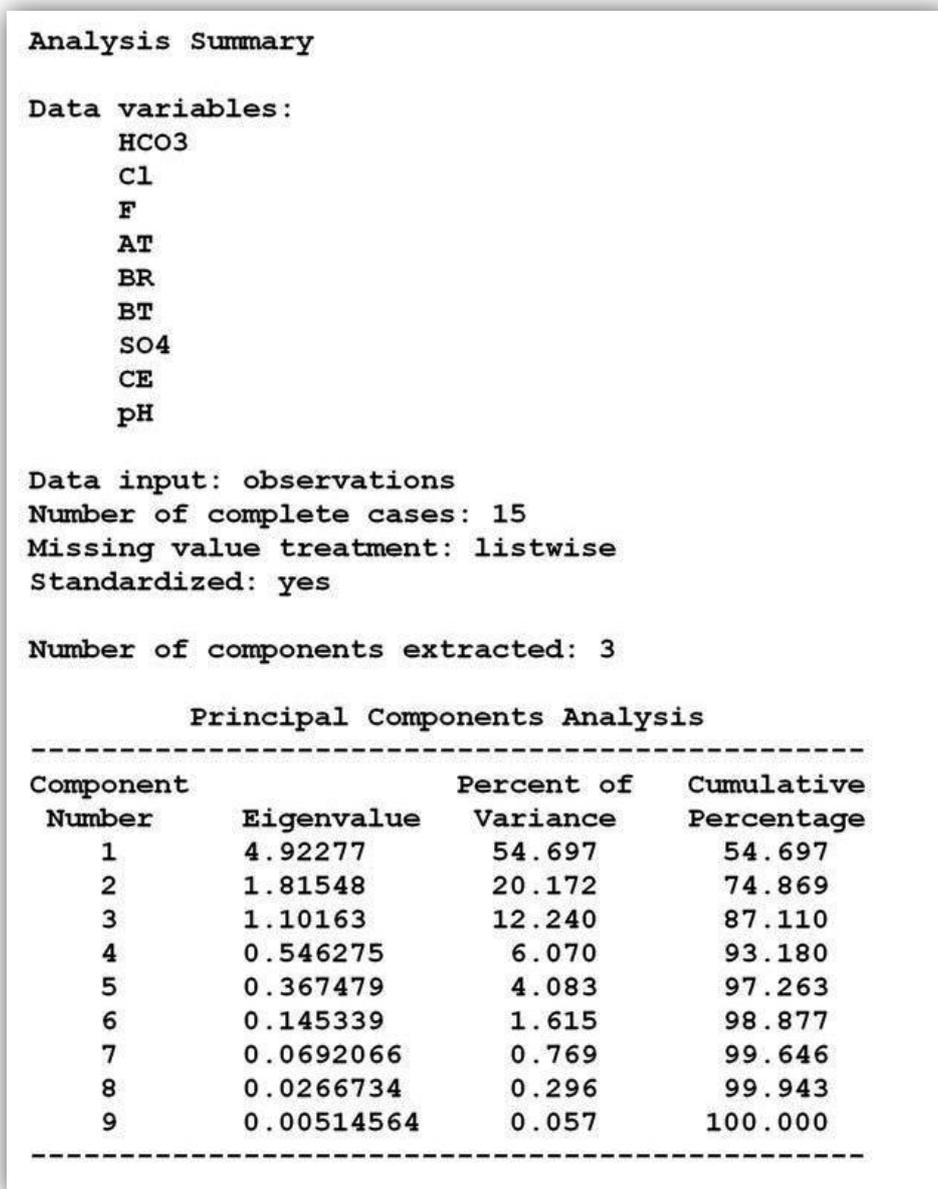


Fig. 34 ACP de las muestras de la zona de la Cuenca del Río Andarax, para aniones.

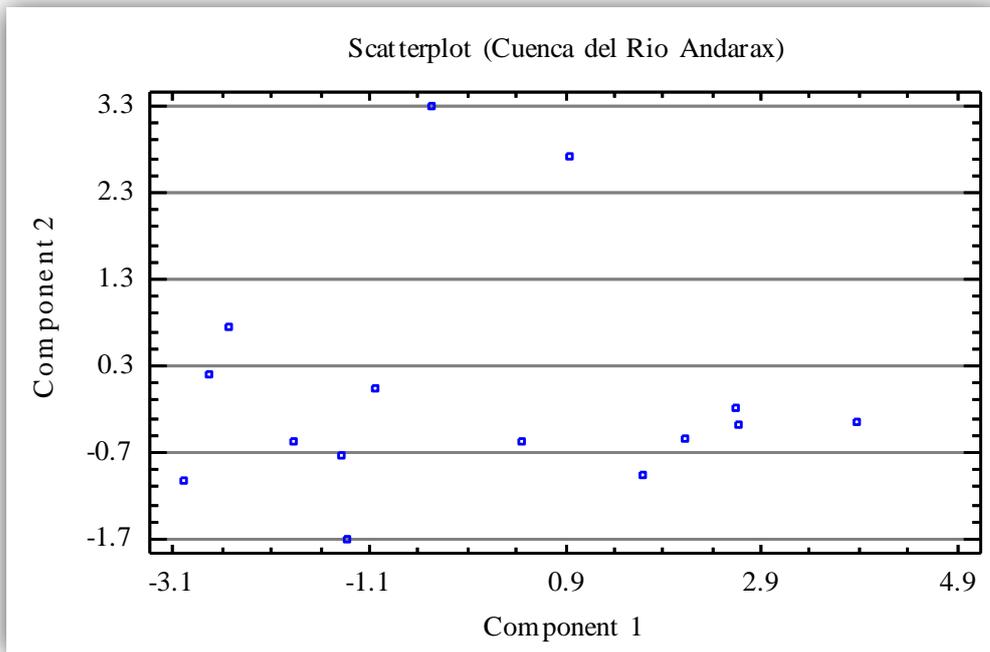


Fig. 35 Diagrama de dispersión de las muestras de la Cuenca del río Andarax, respecto de los aniones.

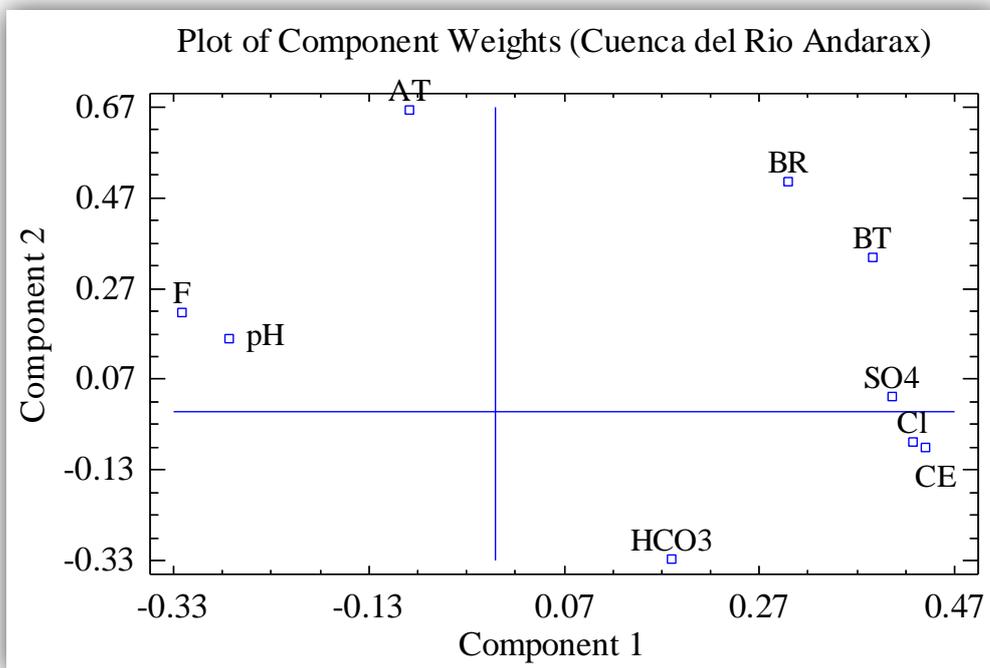


Fig. 36 Gráfico del peso de las muestras de la Cuenca del Río Andarax, respecto de los aniones.

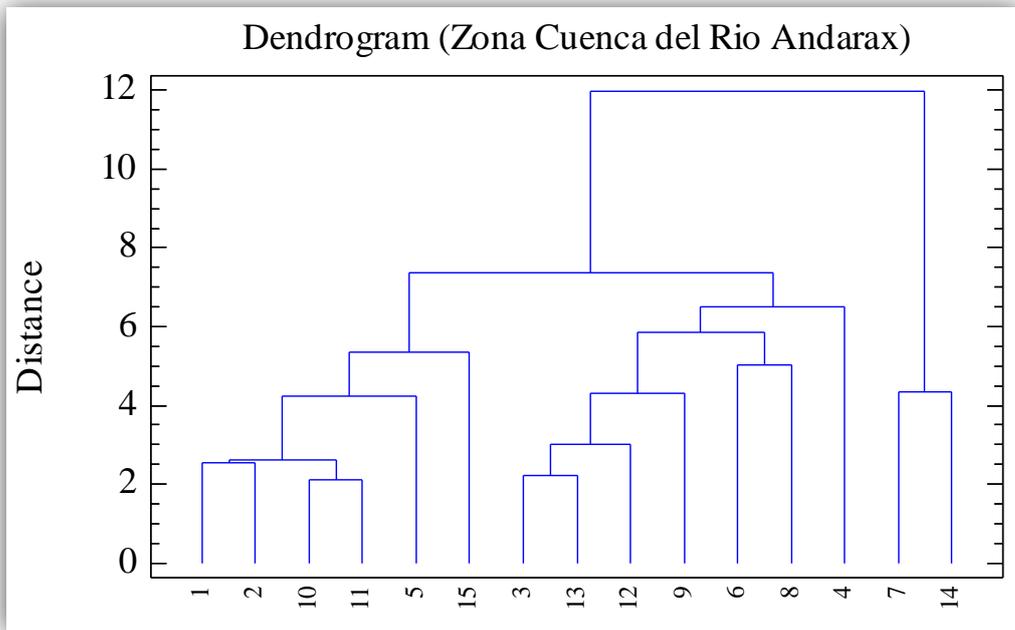


Fig. 37 Dendrograma de las muestras de la zona de la Cuenca del Río Andarax, respecto de los aniones.

3.11. ACP y clúster de las muestras con predominio de facies bicarbonatadas respecto a la α_T , β_T y B_R .

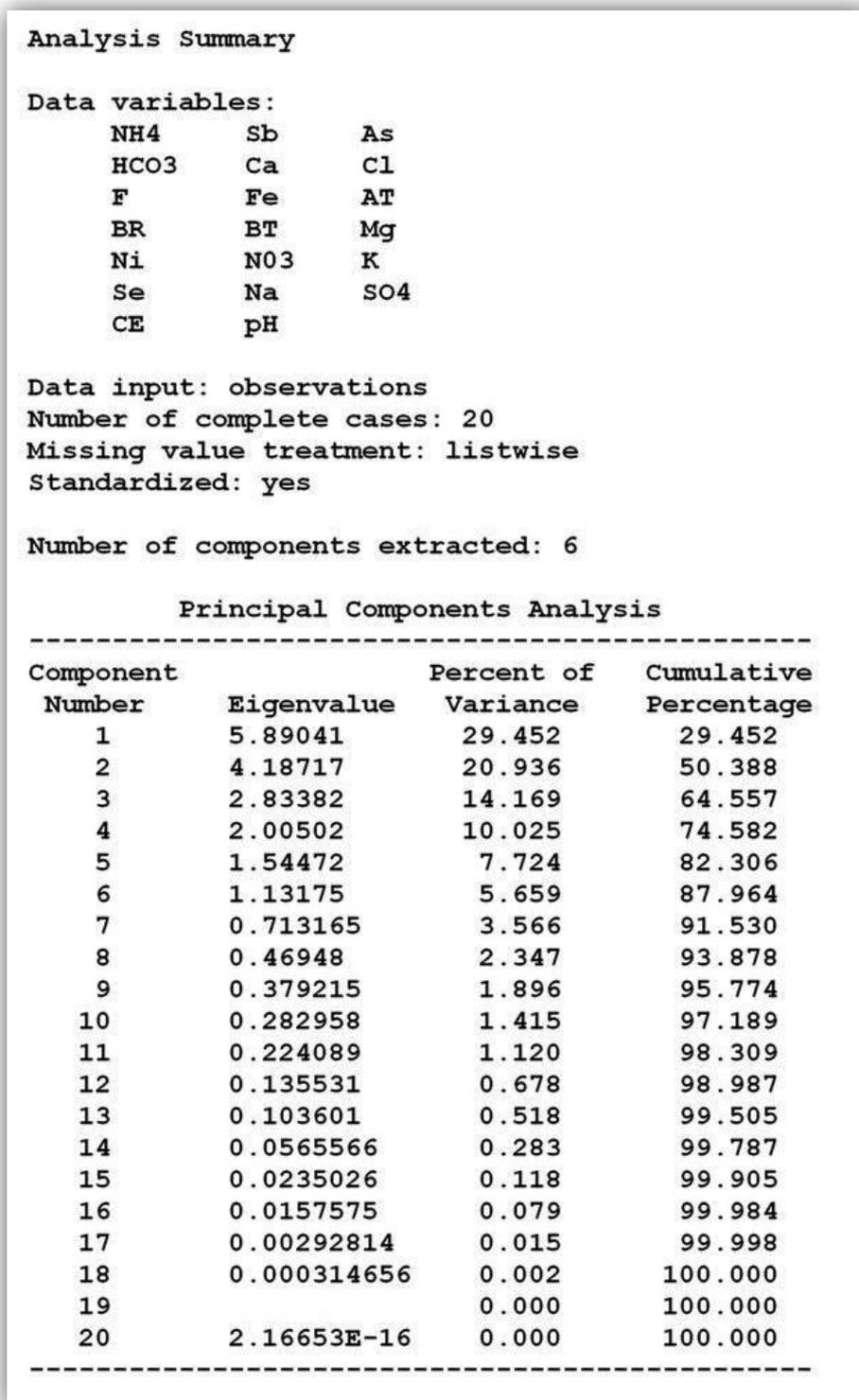


Fig. 38 ACP de las muestras con predominio de facies bicarbonatadas.

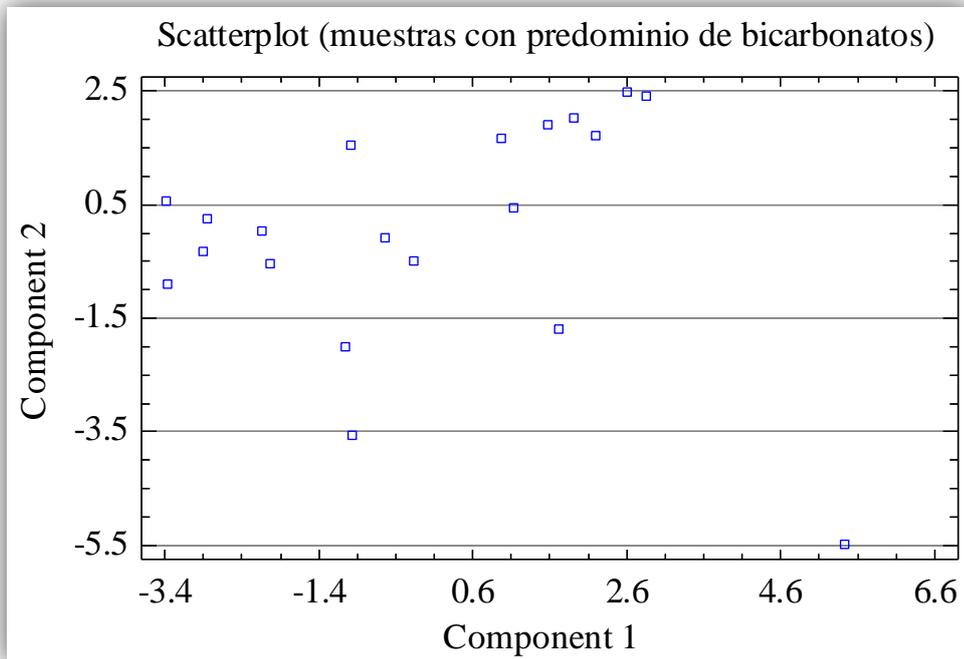


Fig. 39 Diagrama de dispersión de las muestras con predominio de bicarbonatos.

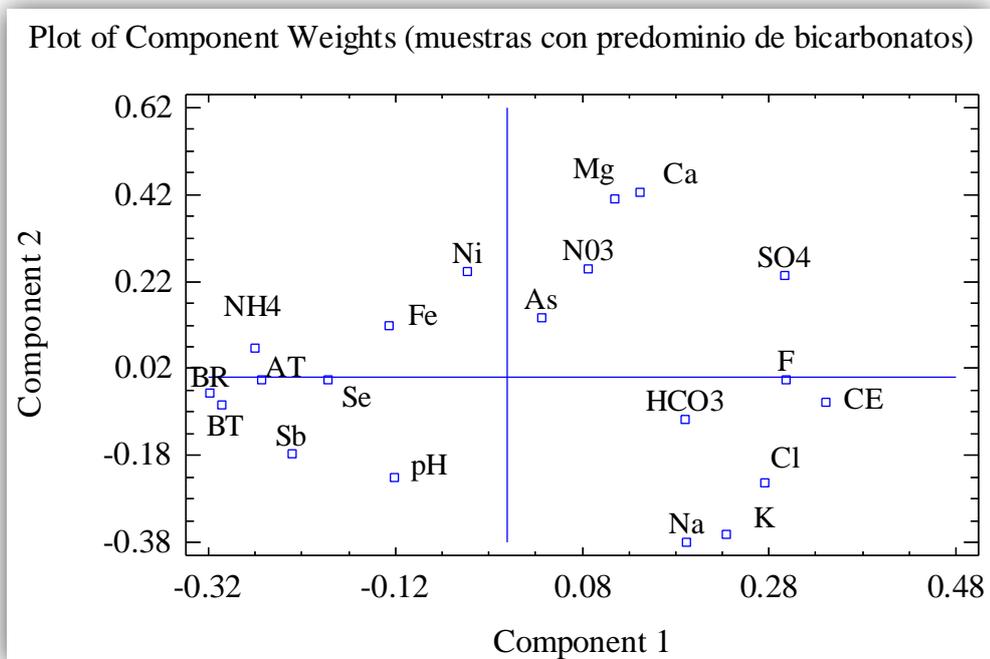


Fig. 40 Gráfico del peso de las muestras con predominio de bicarbonatos.

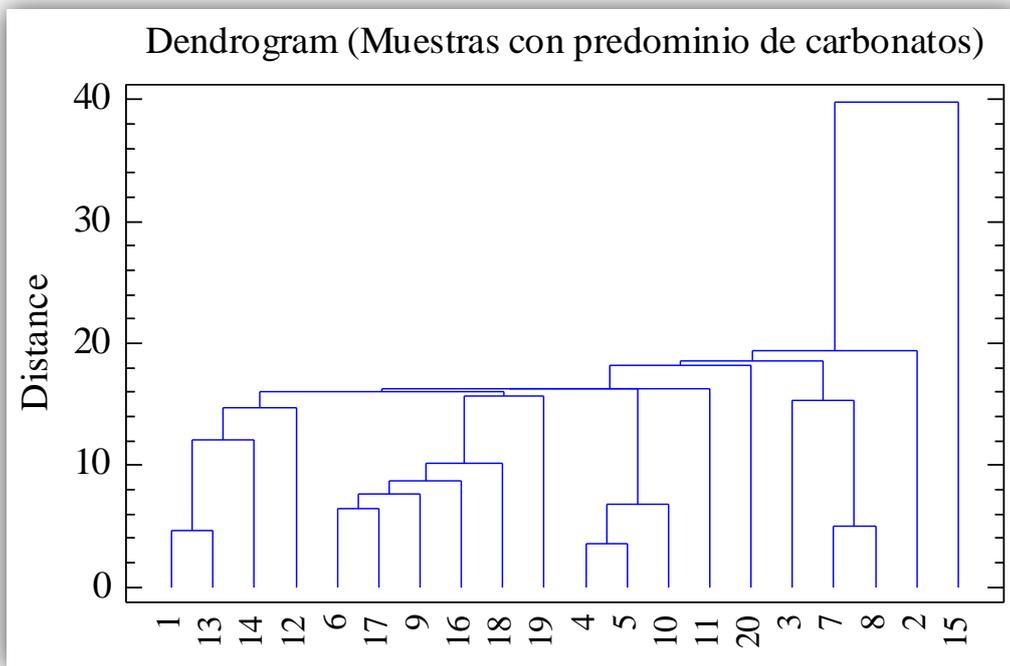


Fig. 41 Dendrograma de las muestras con predominio de facies bicarbonatadas.

3.12.1 ACP y clúster de las muestras con predominio de facies sulfatadas respecto a la α_T , β_T y B_R . (solo cationes)

```

Analysis Summary

Data variables:
  Sb      As      Ca
  Fe      AT      BR
  BT      Mg      Ni
  K       Se      Na
  CE      pH

Data input: observations
Number of complete cases: 17
Missing value treatment: listwise
Standardized: yes

Number of components extracted: 3

Principal Components Analysis
-----
Component          Percent of          Cumulative
Number             Eigenvalue          Variance            Percentage
  1                4.7267             33.762             33.762
  2                4.27343            30.525             64.287
  3                2.49908            17.851             82.137
  4                0.72098            5.150              87.287
  5                0.546216           3.902              91.189
  6                0.5047             3.605              94.794
  7                0.4083             2.916              97.710
  8                0.148468           1.060              98.771
  9                0.110111           0.787              99.557
 10                0.0294546          0.210              99.767
 11                0.0215967          0.154              99.922
 12                0.00935592         0.067              99.989
 13                0.00123531         0.009              99.997
 14                0.000373313        0.003              100.000
-----

```

Fig. 42 ACP de las muestras con predominio de facies sulfatadas, para cationes.

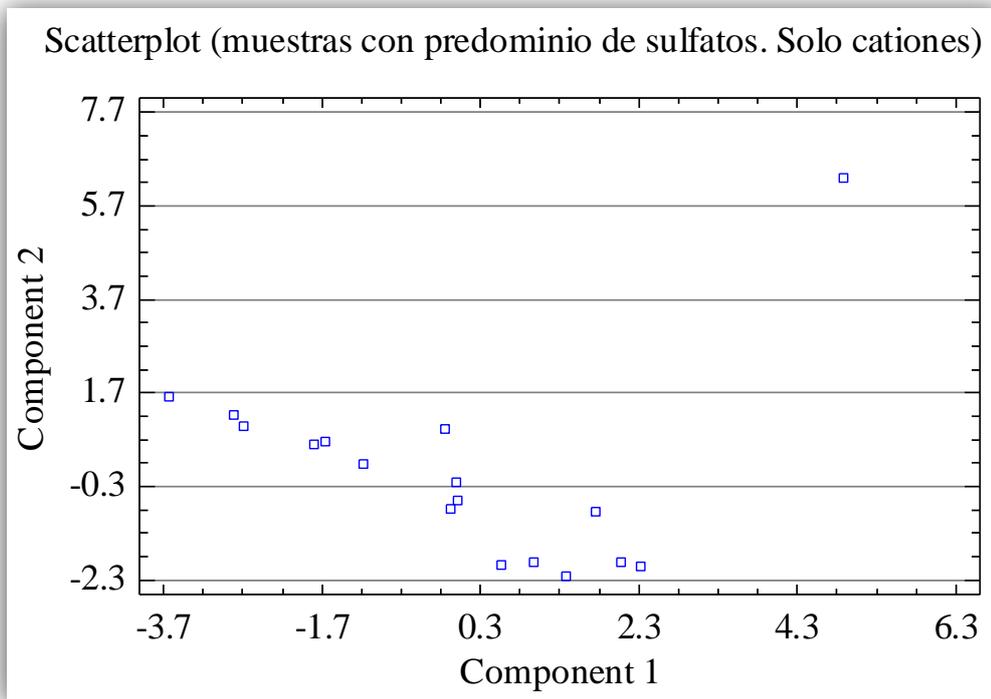


Fig. 43 Diagrama de dispersión de las muestras con predominio de sulfatos (solo cationes).

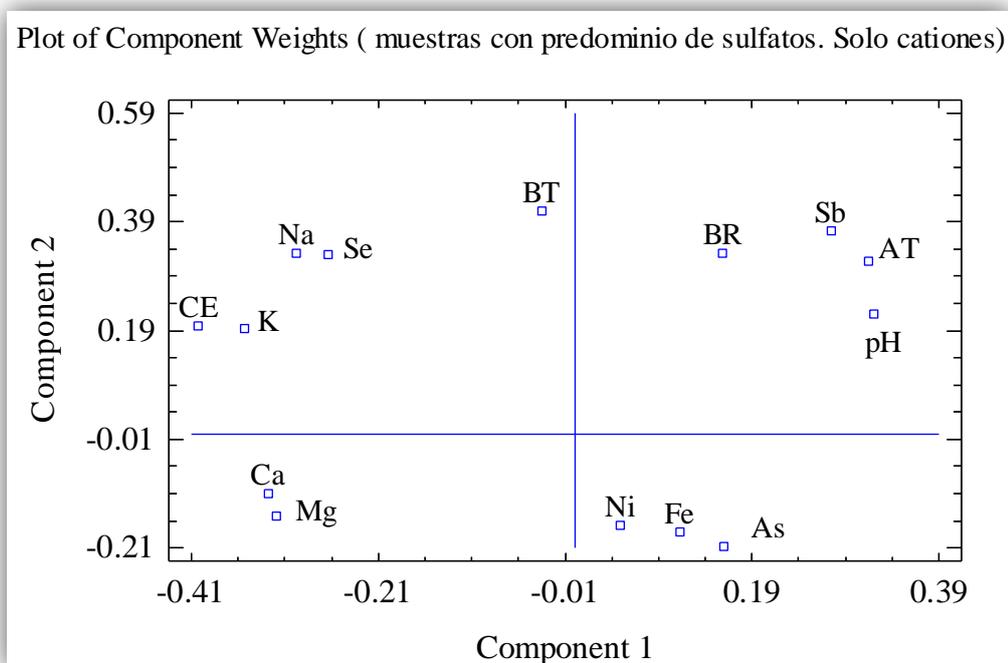


Fig. 44 Gráfico del peso de las muestras con predominio de sulfatos (solo cationes).

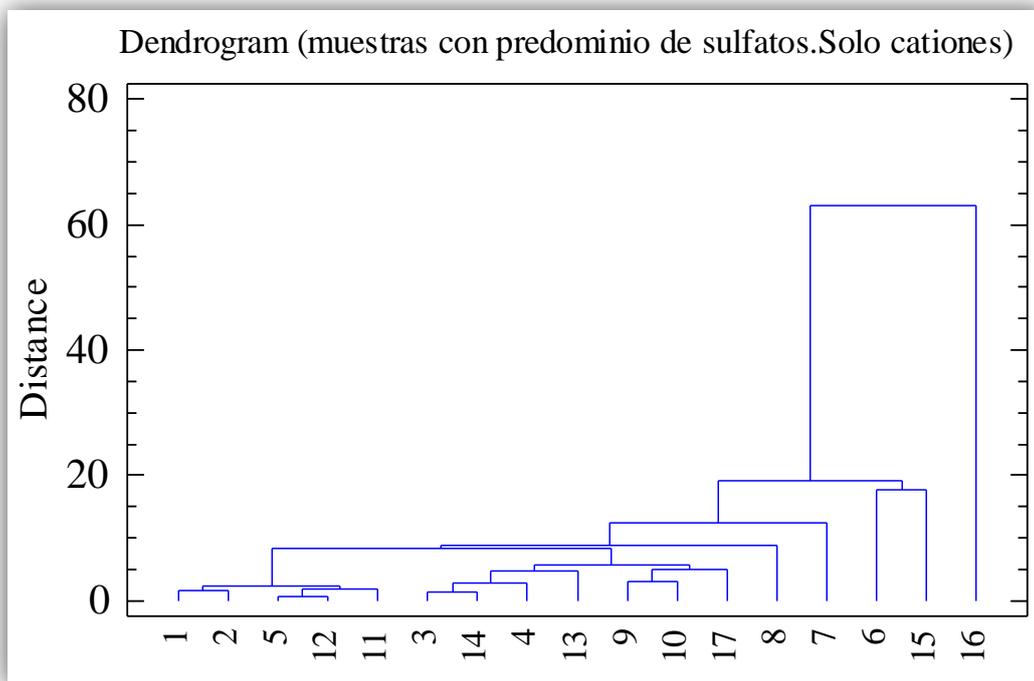


Fig. 45 Dendrograma de las muestras con predominio de facies sulfatadas. Solo cationes.

3.12.2 ACP y clúster de las muestras con predominio de facies sulfatadas respecto a la α_T , β_T y B_R . (solo aniones)

```

Analysis Summary

Data variables:
  NH4      HCO3      Cl
  F        AT        BR
  BT       NO3      SO4
  CE       pH

Data input: observations
Number of complete cases: 17
Missing value treatment: listwise
Standardized: yes

Number of components extracted: 2

Principal Components Analysis
-----
Component      Percent of      Cumulative
Number         Eigenvalue     Variance       Percentage
  1            4.66711       42.428        42.428
  2            3.1307        28.461        70.889
  3            0.99891       9.081         79.970
  4            0.892617     8.115         88.085
  5            0.50997       4.636         92.721
  6            0.387331     3.521         96.242
  7            0.214975     1.954         98.197
  8            0.106411     0.967         99.164
  9            0.0705473    0.641         99.805
 10            0.0118598    0.108         99.913
 11            0.00956636   0.087         100.000
-----

```

Fig. 46 ACP de las muestras con predominio de facies sulfatadas, para aniones.

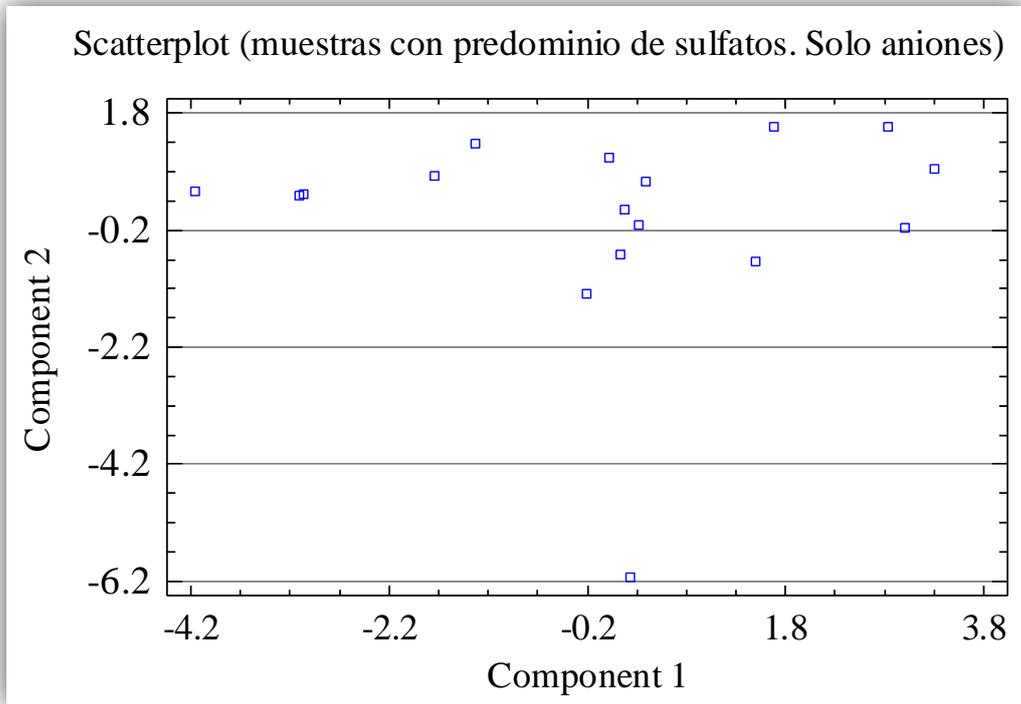


Fig. 47 Diagrama de dispersión de las muestras con predominio de sulfatos (solo aniones).

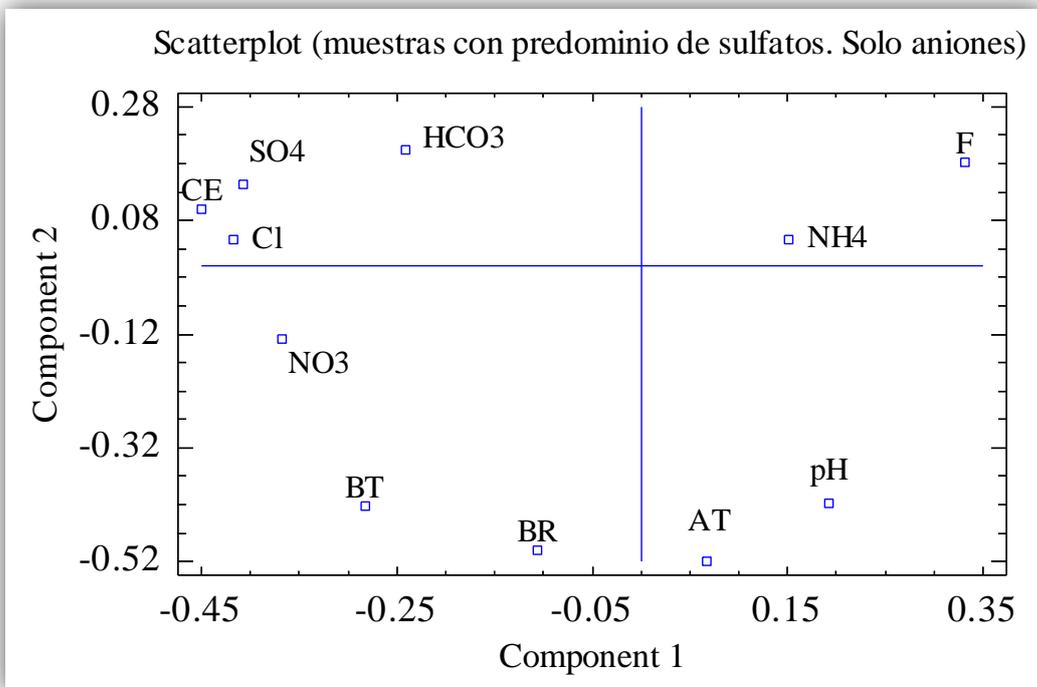


Fig. 48 Gráfico del peso de las muestras con predominio de sulfatos (solo aniones).

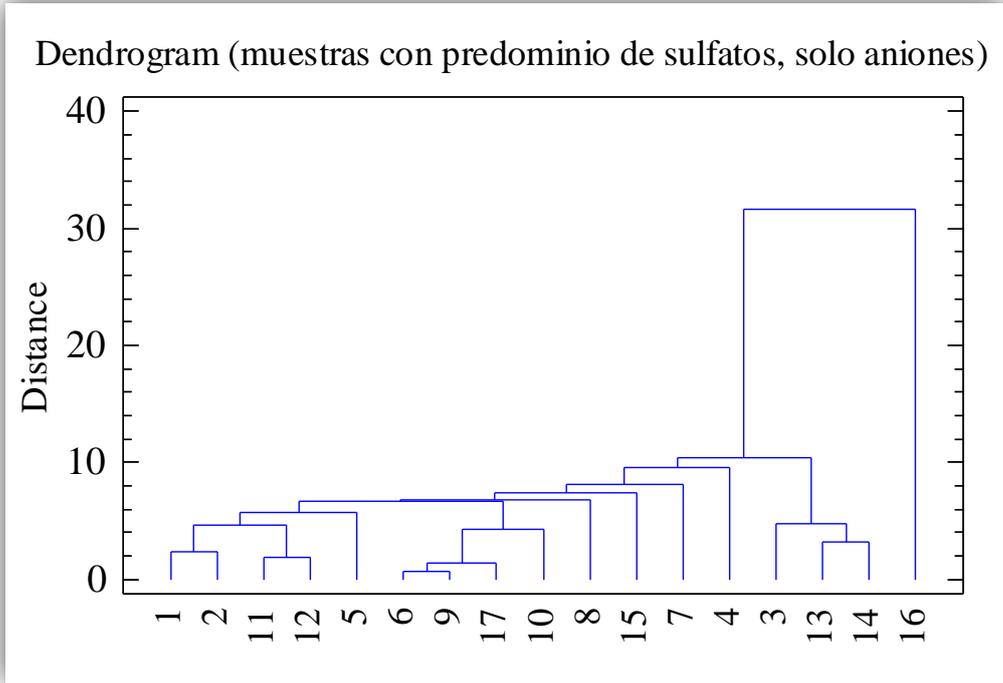


Fig. 49 Dendrograma de las muestras con predominio de facies sulfatadas. Solo cationes.

3.13. Análisis de las muestras con contenido de radionucleidos específicos.

Summary Statistics

	RA224	RA226	RA228
Count	9	9	9
Average	8.34778	69.7378	34.7256
Variance	58.305	1736.31	1503.69
Standard deviation	7.63577	41.669	38.7775
Minimum	0.0	1.64	0.0
Maximum	24.0	136.0	106.0
Range	24.0	134.36	106.0
Stnd. skewness	1.51033	0.117907	1.13156
Stnd. kurtosis	0.621744	-0.273846	-0.346248

Summary Statistics

	Th228	Th230	Th232
Count	9	9	9
Average	2.16667	1.97333	0.0615556
Variance	3.70248	17.1438	0.00395553
Standard deviation	1.92418	4.14051	0.062893
Minimum	0.0	0.32	0.0
Maximum	4.8	13.0	0.2
Range	4.8	12.68	0.2
Stnd. skewness	0.722329	3.6557	1.84021
Stnd. kurtosis	-1.00057	5.46923	1.37176

Summary Statistics

	U234	U235	U238
Count	9	9	9
Average	382.333	11.1856	266.408
Variance	480914.0	525.85	308386.0
Standard deviation	693.479	22.9314	555.325
Minimum	65.0	0.0	31.0
Maximum	2210.0	71.67	1736.67
Range	2145.0	71.67	1705.67
Stnd. skewness	3.51644	3.52647	3.57675
Stnd. kurtosis	5.14482	5.16994	5.2854

Summary Statistics

	PO210
Count	9
Average	3.28111
Variance	7.41629
Standard deviation	2.72329
Minimum	0.34
Maximum	7.0
Range	6.66
Stnd. skewness	0.595882
Stnd. kurtosis	-0.992556

Fig. 50 Estadísticos principales de muestras con contenido de radionucleidos.

3.13.1 ACP y clúster de las muestras con radionucleidos.

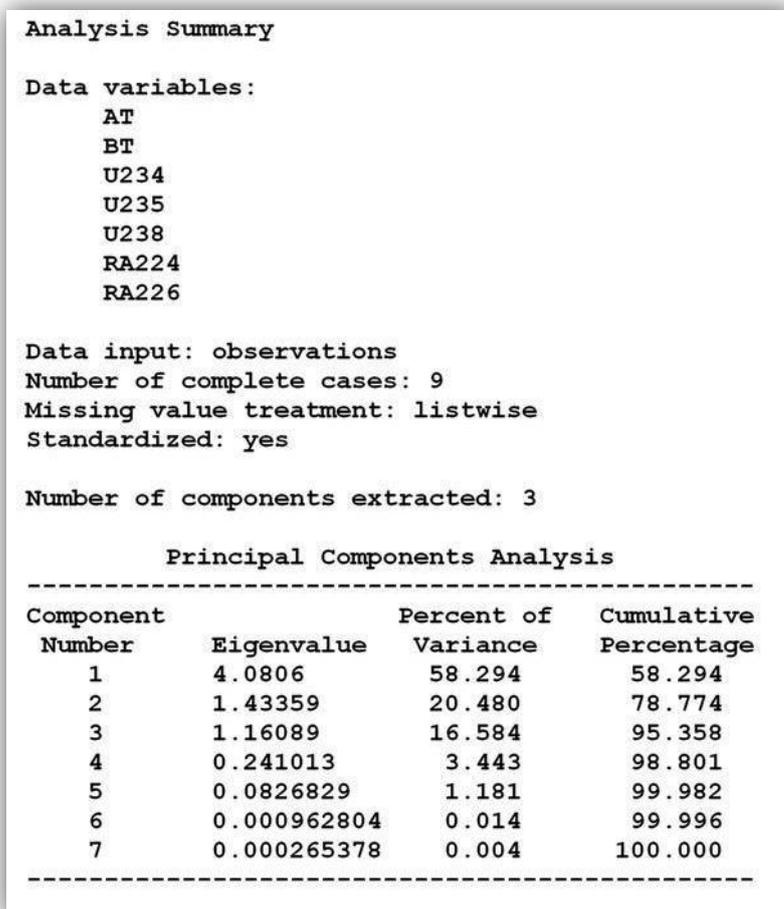


Fig. 51. ACP de las muestras con radionucleidos, para los radioisótopos del U y Ra respecto de AT y BT.

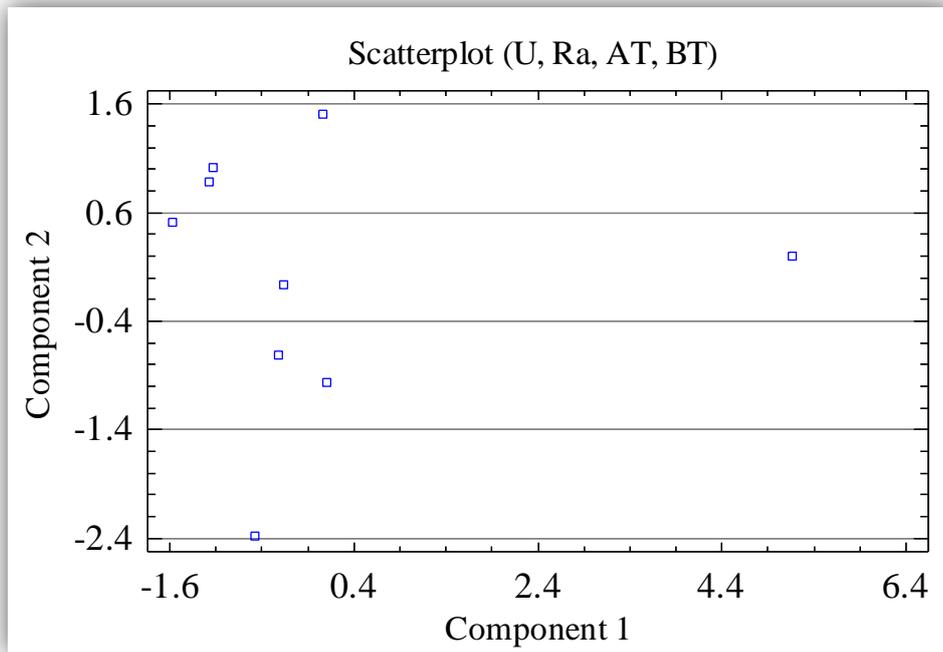


Fig. 52 Diagrama de dispersión de las muestras con radioisótopos de U y Ra respecto de AT y BT.

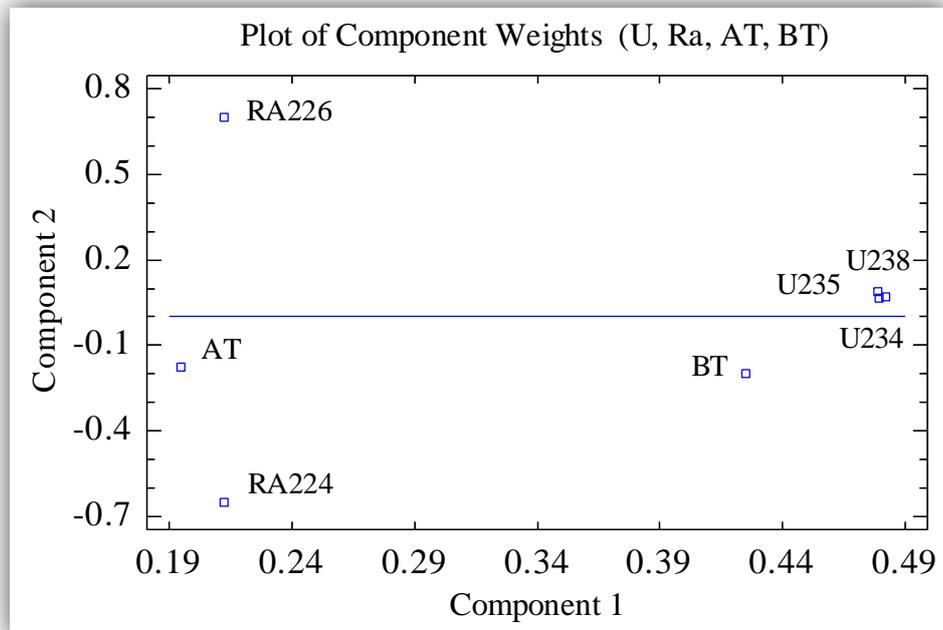


Fig. 53 Gráfico del peso de las muestras con radioisótopos de U y Ra respecto de AT y BT.

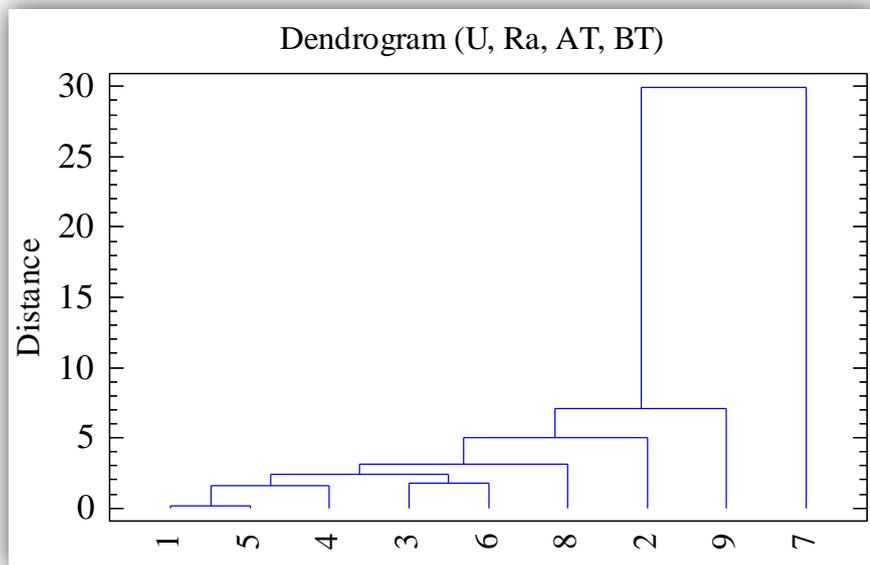


Fig. 54 Dendrograma de las muestras con radioisótopos de U y Ra respecto a AT y BT.

```

Analysis Summary

Data variables:
  AT
  BT
  Th228
  Th230
  PO210

Data input: observations
Number of complete cases: 9
Missing value treatment: listwise
Standardized: yes

Number of components extracted: 2

Principal Components Analysis
-----
Component      Eigenvalue      Percent of      Cumulative
Number          Variance        Variance        Percentage
  1             2.65881         53.176          53.176
  2             1.05448         21.090          74.266
  3             0.750574        15.011          89.277
  4             0.449994         9.000          98.277
  5             0.0861453        1.723          100.000
-----

```

Fig. 55 ACP de las muestras con radionucleidos, para los radioisótopos del Th y Po respecto de AT y BT.

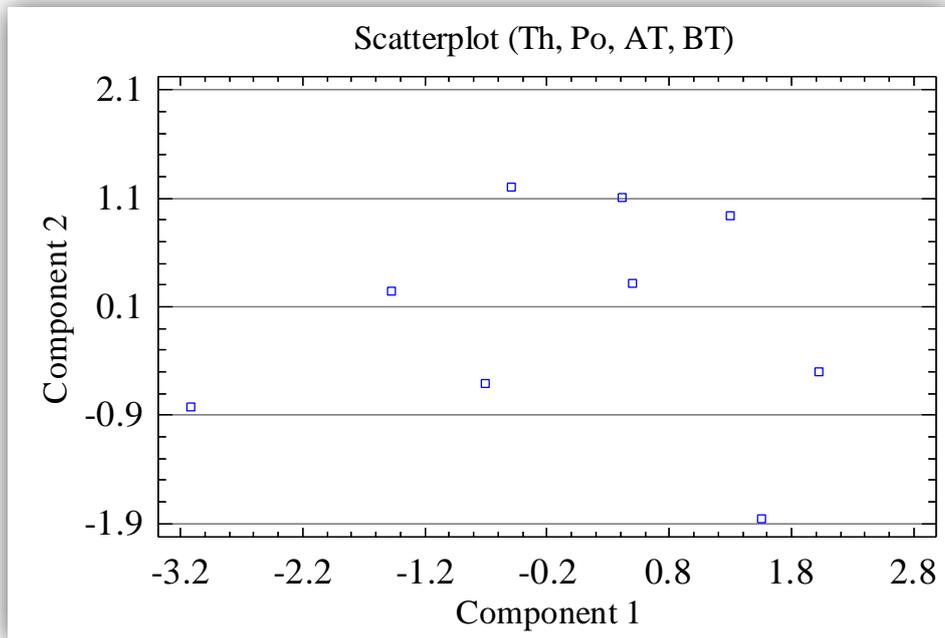


Fig. 56 Diagrama de dispersión de las muestras con radioisótopos de Th y Po respecto de AT y BT.

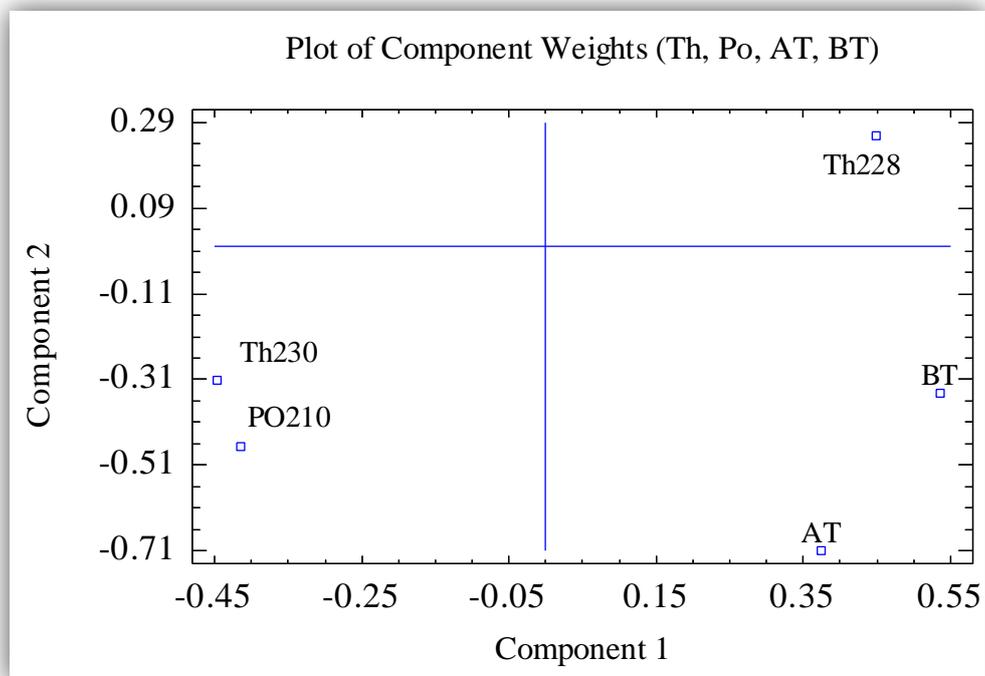


Fig. 57 Gráfico del peso de las muestras con radioisótopos de Th y Po respecto de AT y BT.

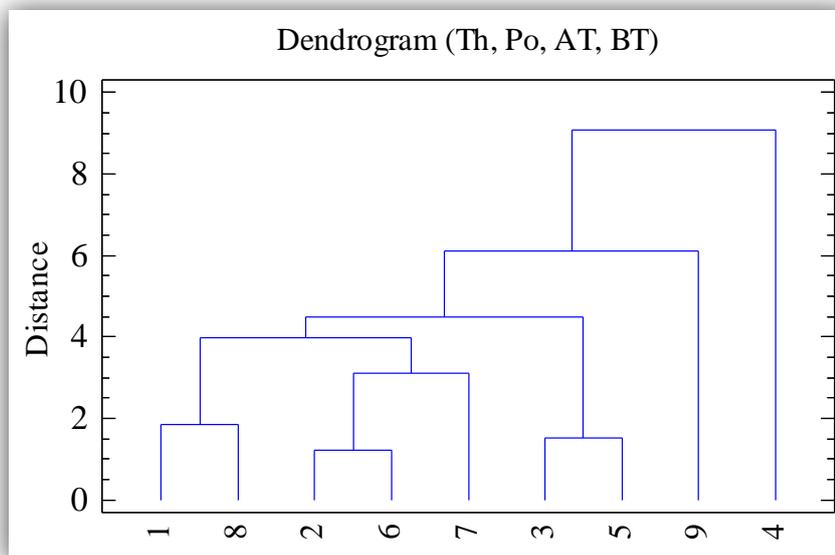


Fig. 58 Dendrograma de las muestras con radioisótopos de Th y Po.

```

Analysis Summary

Data variables:
  U234
  U235
  U238
  RA224
  RA226
  Th228
  Th230
  PO210

Data input: observations
Number of complete cases: 9
Missing value treatment: listwise
Standardized: yes

Number of components extracted: 3

Principal Components Analysis
-----
Component      Eigenvalue      Percent of      Cumulative
Number          Variance        Variance        Percentage
  1             3.90572         48.822          48.822
  2             1.98014         24.752          73.573
  3             1.47325         18.416          91.989
  4             0.452808        5.660           97.649
  5             0.110375        1.380           99.029
  6             0.077008        0.963           99.991
  7             0.000628405    0.008           99.999
  8             0.0000635315   0.001           100.000
-----

```

Fig. 59 ACP de las muestras con radionucleidos, para U, Ra, Th y Po

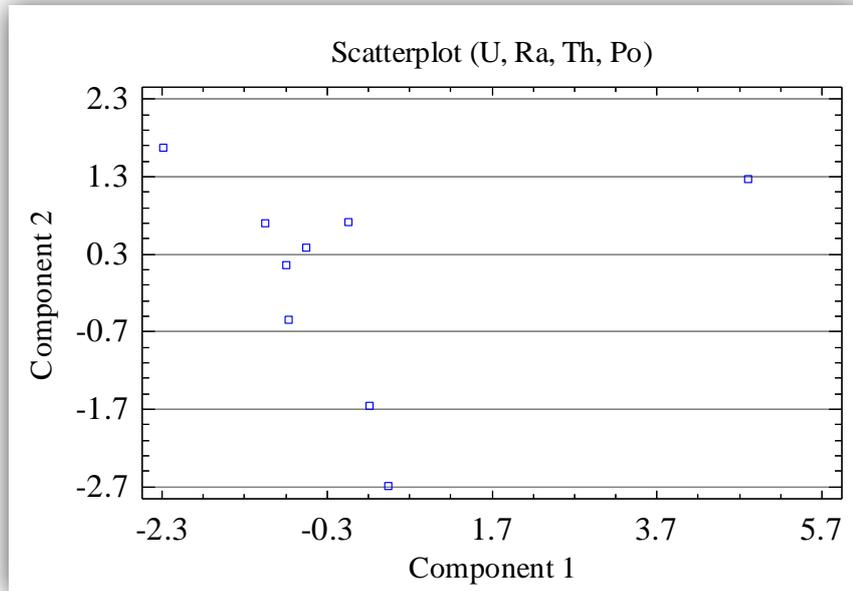


Fig. 60 Diagrama de dispersión de componentes de las muestras con radioisótopos de U, Ra, Th y Po.

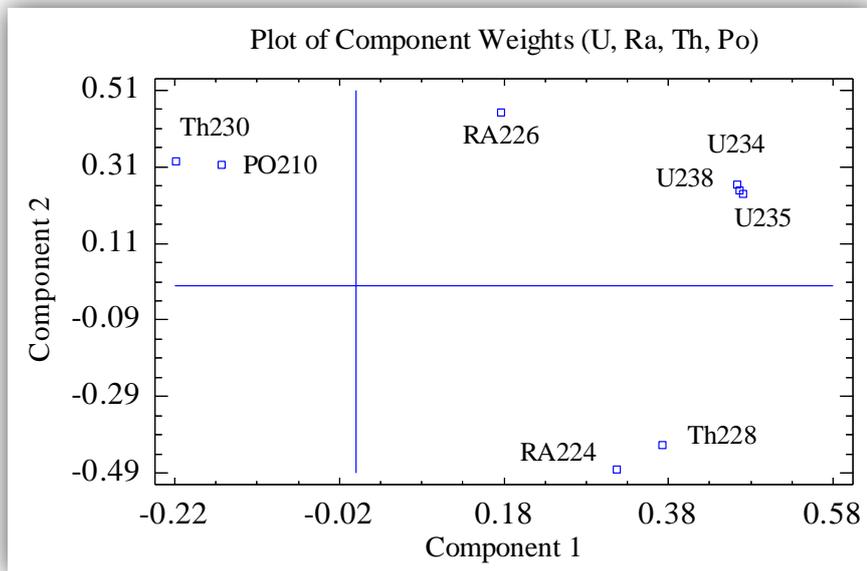


Fig. 61 Gráfico del peso de las muestras con radioisótopos de U, Ra, Th y Po

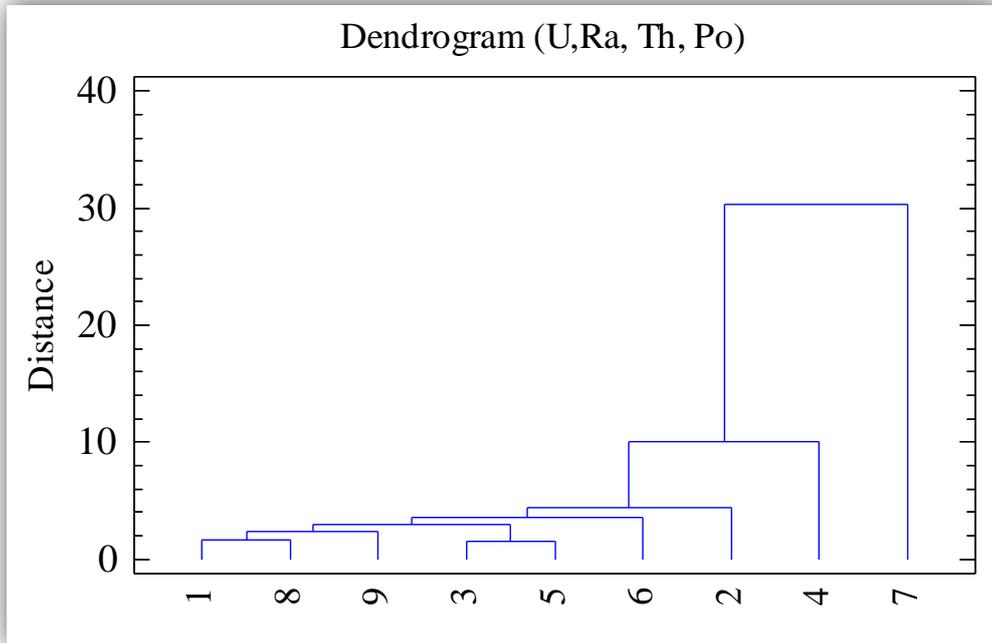


Fig. 62 Dendrograma de las muestras con radioisótopos de U, Ra, Th y Po

Analysis Summary

Data variables:

U234
U235
U238
RA224
RA226
Th228
Th230
PO210
pH

Data input: observations

Number of complete cases: 9

Missing value treatment: listwise

Standardized: yes

Number of components extracted: 4

Principal Components Analysis

Component Number	Eigenvalue	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	3.90627	43.403	43.403
2	2.00159	22.240	65.643
3	1.56323	17.369	83.012
4	1.09187	12.132	95.144
5	0.298421	3.316	98.460
6	0.110239	1.225	99.685
7	0.0278704	0.310	99.994
8	0.000519543	0.006	100.000
9	8.31138E-17	0.000	100.000

Fig. 63 ACP de las muestras con radionucleidos, para U, Ra, Th y Po y pH.

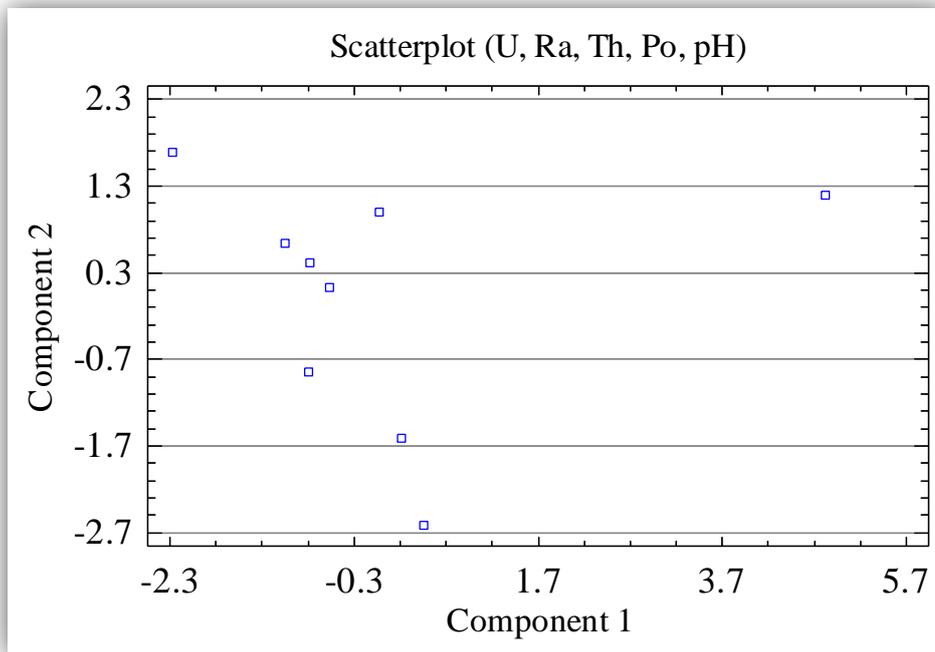


Fig. 64 Diagrama de dispersión de componentes de las muestras con radioisótopos de U, Ra, Th y Po y pH.

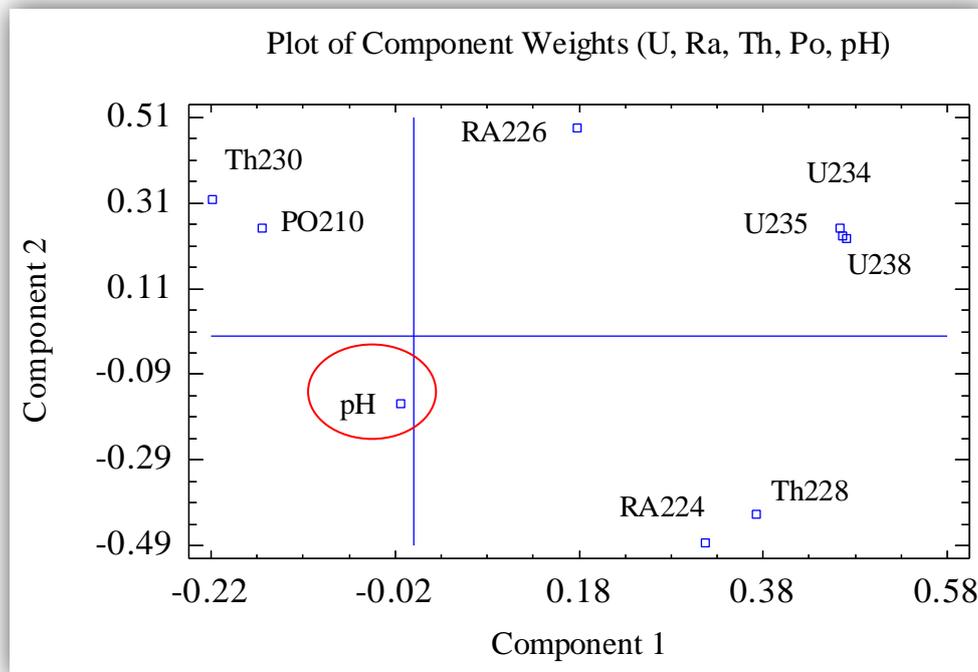


Fig. 65 Gráfico del peso de las muestras con radioisótopos de U, Ra, Th y Po y pH.

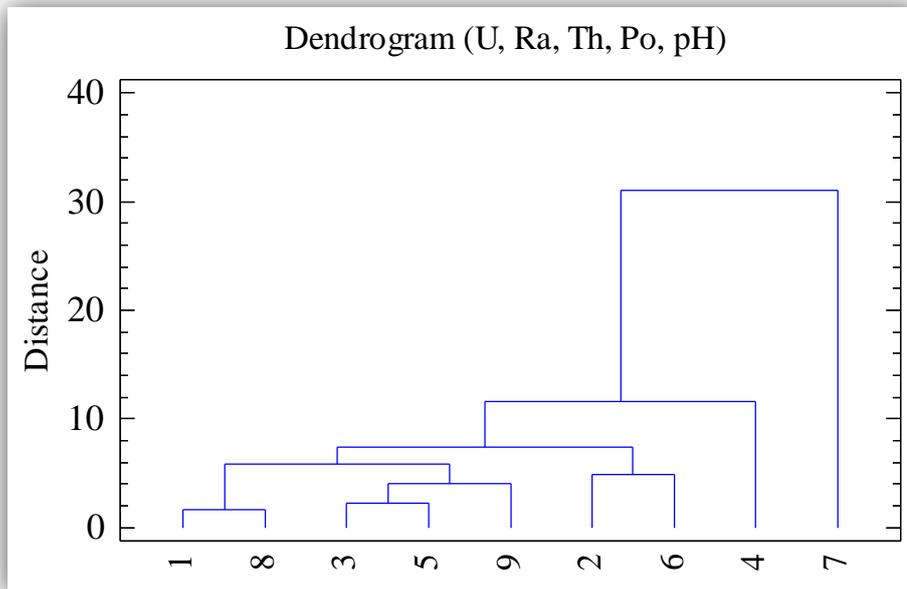


Fig. 66 Dendrograma de las muestras con radioisótopos de U, Ra, Th y Po y Ph.

Analysis Summary

Data variables:

CE
U234
U235
U238
RA224
RA226
Th228
Th230
PO210

Data input: observations

Number of complete cases: 9

Missing value treatment: listwise

Standardized: yes

Number of components extracted: 3

Principal Components Analysis

Component Number	Eigenvalue	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	3.95392	43.932	43.932
2	2.48303	27.589	71.522
3	1.51574	16.842	88.363
4	0.676505	7.517	95.880
5	0.283111	3.146	99.026
6	0.0852647	0.947	99.973
7	0.00225543	0.025	99.998
8	0.000167086	0.002	100.000
9	1.39275E-17	0.000	100.000

Fig. 67 ACP de las muestras con radionucleidos, para U, Ra, Th y Po y CE.

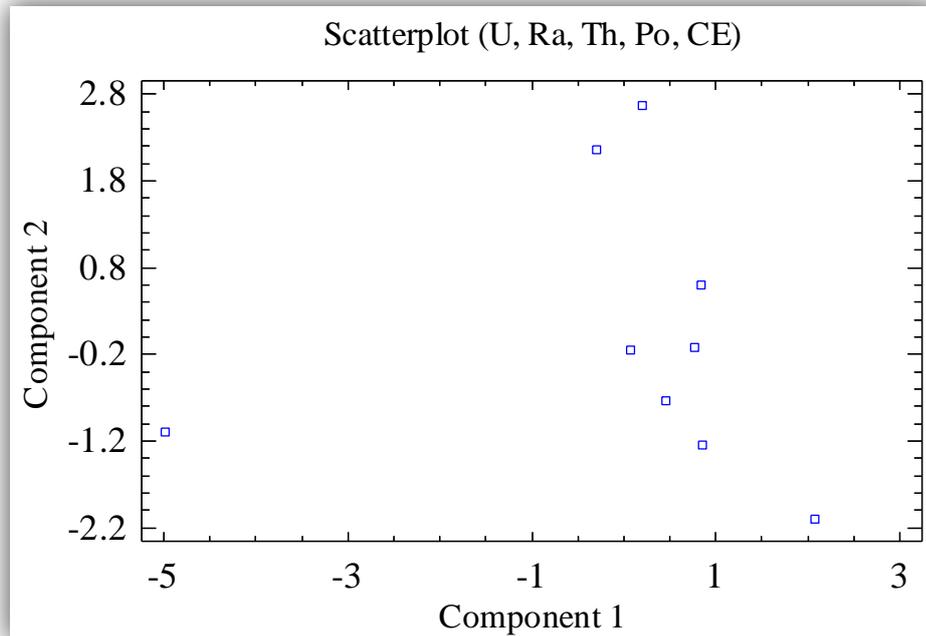


Fig. 68 Diagrama de dispersión de componentes de las muestras con radioisótopos de U, Ra, Th y Po y CE.

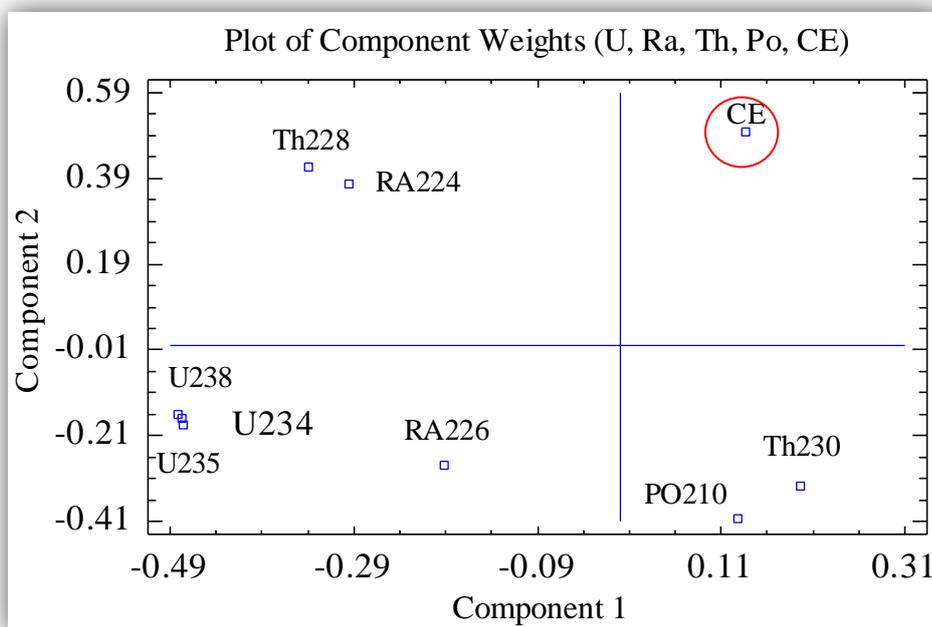


Fig. 69 Gráfico del peso de las muestras con radioisótopos de U, Ra, Th y Po y CE.

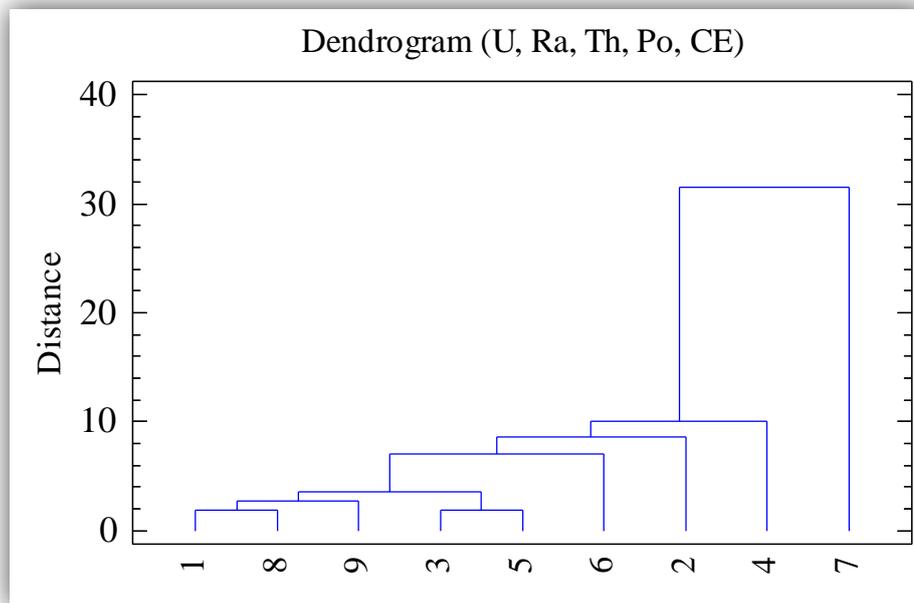
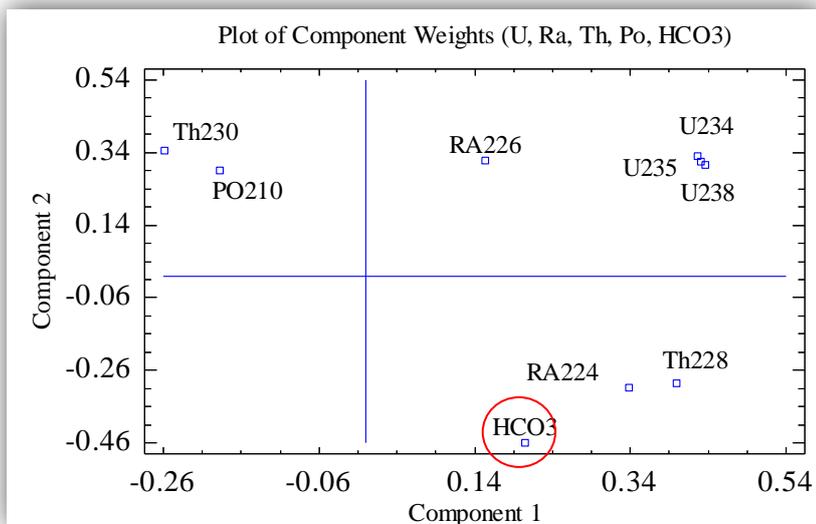
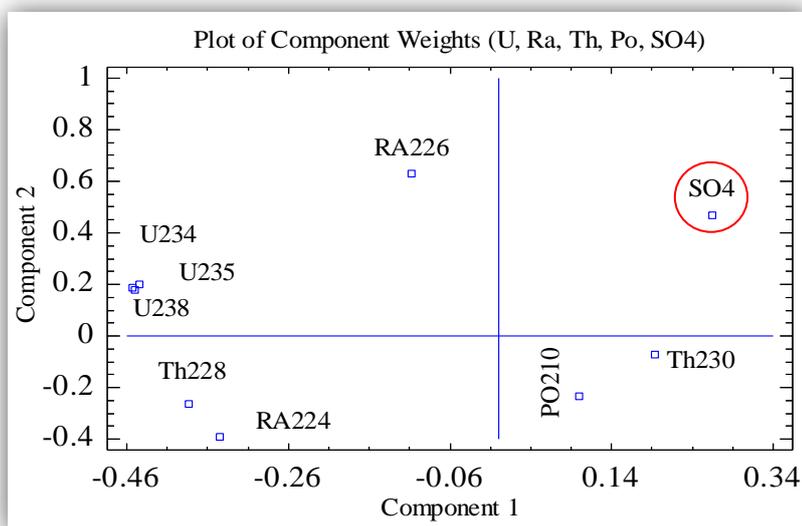


Fig. 70 Dendrograma de las muestras con radioisótopos de U, Ra, Th y Po y CE.

A)



B)



C)

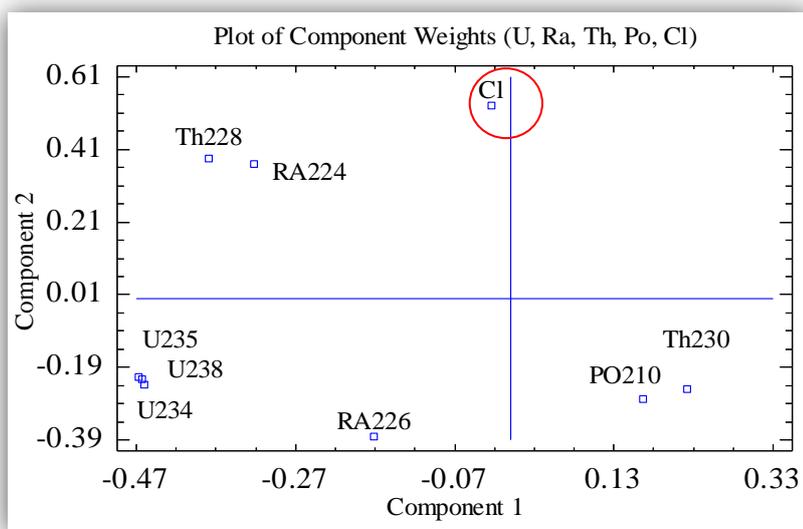
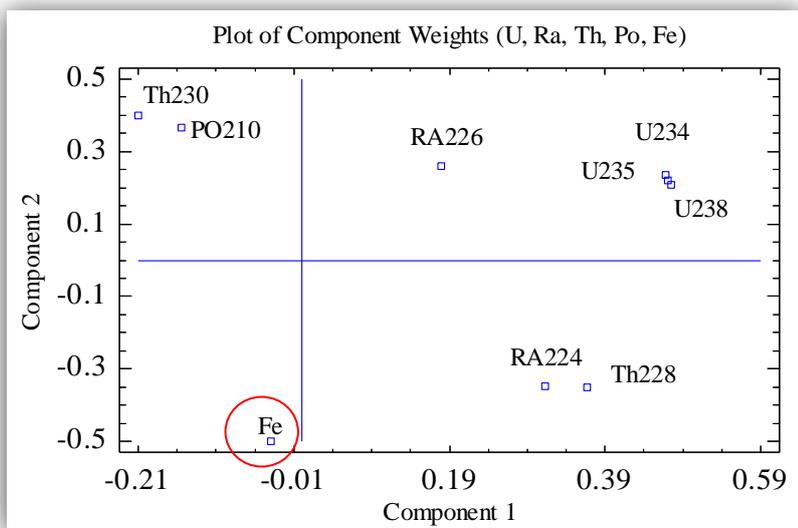
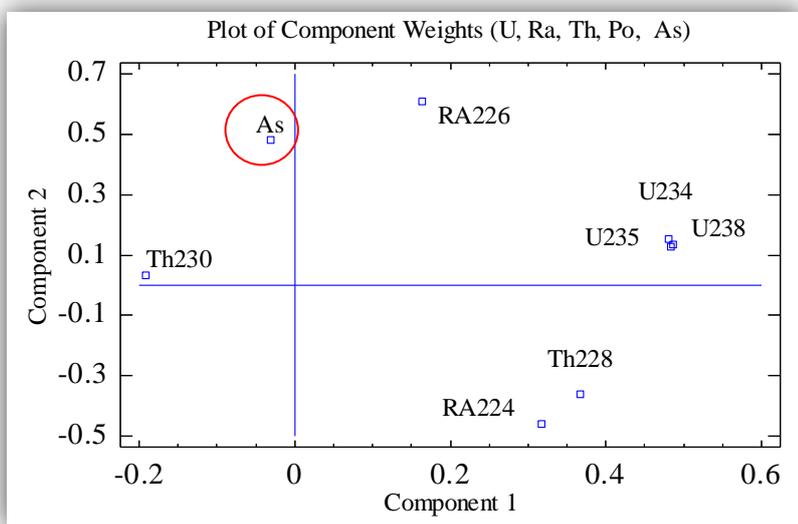


Fig. 71 Gráfico del peso de las muestras con radioisótopos de U, Ra, Th y Po, HCO₃, SO₄ Y Cl.

A)



B)



C)

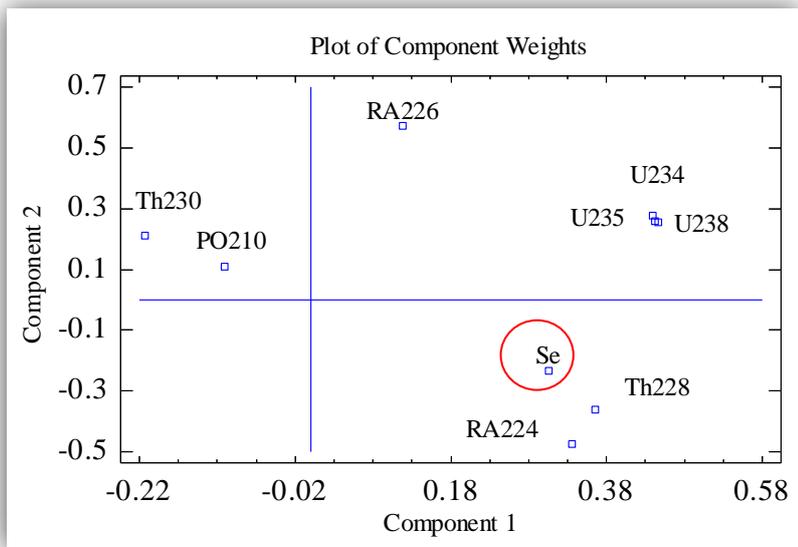


Fig. 72 Gráfico del peso de las muestras con radioisótopos de U, Ra, Th y Po, Fe, As, Se.

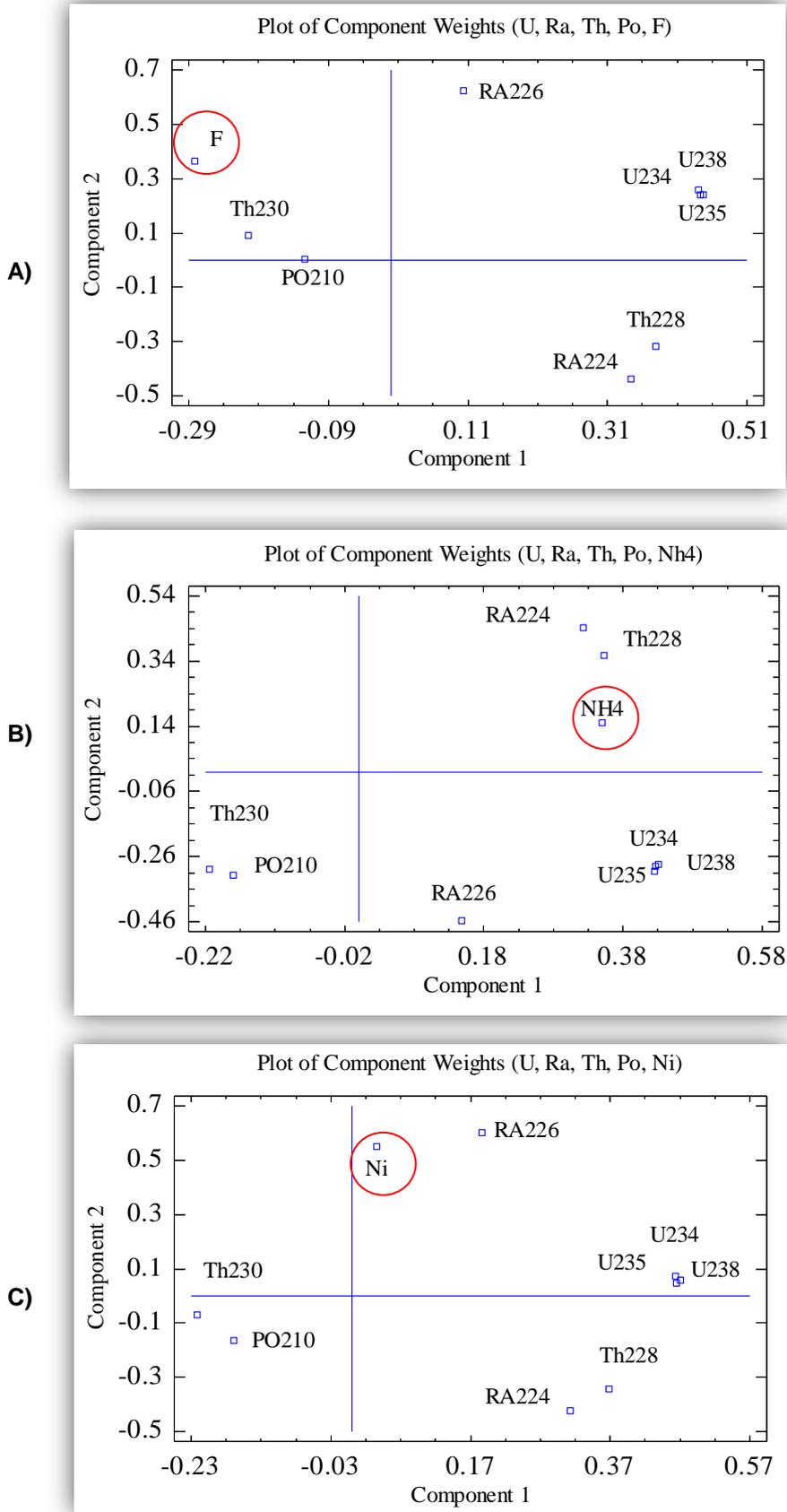
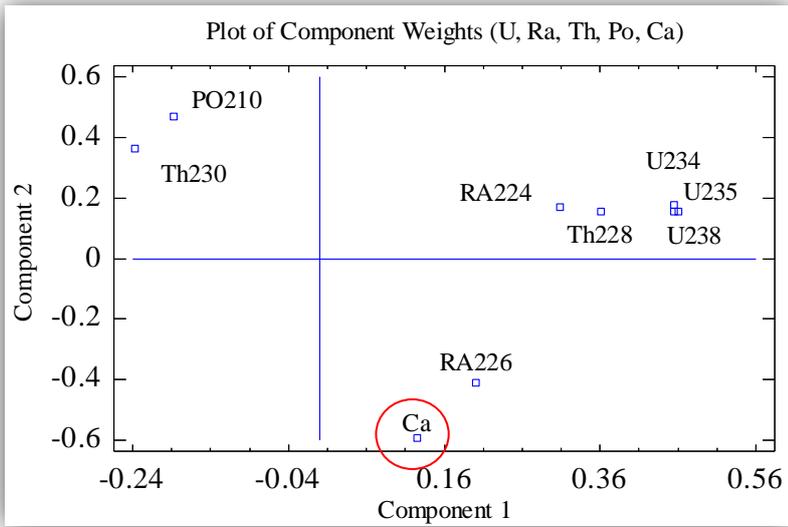
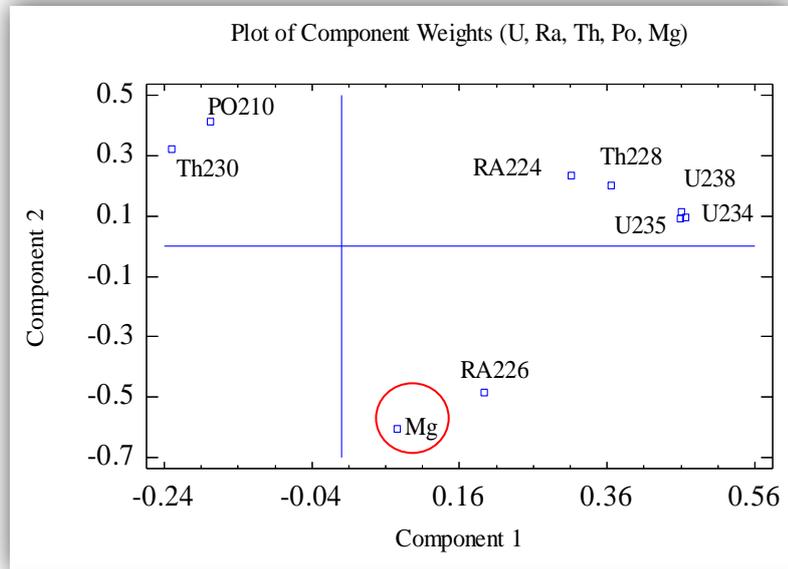


Fig. 73 Gráfico del peso de las muestras con radioisótopos de U, Ra, Th y Po, F, NH4-, Ni.

A)



B)



C)

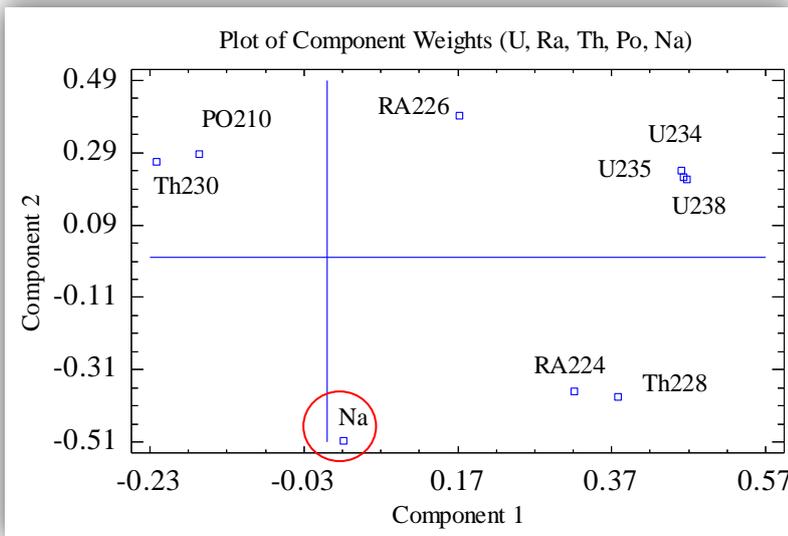


Fig. 74 Gráfico del peso de las muestras con radioisótopos de U, Ra, Th y Po, Ca, Mg, Na.

El Ejido (Almería) a 10 de Septiembre de 2013.