



**VNiVERSIDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**Análisis estadístico de los elementos químicos más representativos
en muestras de sedimentos y suelos del suroeste de la provincia de
Salamanca para la identificación de indicios minerales**

*Statistical analysis of the most representative chemical elements
in samples of sediments and soils from the southwest of the
Salamanca province for the identification of mineralizations*

**Trabajo de Fin de Grado de Geología
Ulpiano Cano Mato**

Tutoras: Agustina Fernández Fernández
María Teresa Santos Martín

Salamanca, julio 2023

Certificado de las tutoras TFG

Dña. Agustina Fernández Fernández, profesora del Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca y Dña. M^a Teresa Santos Martín, profesora del Departamento de Estadística de la Universidad de Salamanca,

HACEN CONSTAR:

Que el trabajo titulado “Análisis estadístico de los elementos químicos más representativos en muestras de sedimentos y suelos del suroeste de la provincia de Salamanca para la identificación de indicios minerales”, que se presenta, ha sido realizado por D. Ulpiano Cano Mato, con DNI 71205811L y constituye la memoria del trabajo realizado para la superación de la asignatura Trabajo de Fin de Grado en Geología en esta Universidad.

Salamanca, 3 de julio de 2023

Fdo: Agustina Fernández Fernández

Fdo: M^a Teresa Santos Martín

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a mis tutoras, Agustina Fernández Fernández y María Teresa Santos Martín, profesoras de la Universidad de Salamanca, por proponer y orientar este proyecto, brindándome valiosos consejos y una guía invaluable para llevarlo a cabo.

También quiero agradecer al profesorado de la Titulación de Geología, que han contribuido significativamente a mi formación.

Agradezco a mis compañeros de clase, amigos y a mi pareja por compartir tantos buenos momentos.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a mi familia, especialmente a mis padres y mi hermana, por su constante ánimo y apoyo a lo largo de este camino.

Resumen

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es realizar un análisis estadístico de los contenidos de los elementos químicos seleccionados de muestras de sedimentos y suelos del suroeste de la provincia de Salamanca, con la finalidad de identificar nuevas mineralizaciones y establecer relaciones con las ya conocidas. Para ello se ha realizado una recopilación bibliográfica, se han obtenido datos de 26 elementos químicos de 704 muestras y se ha aplicado un tratamiento estadístico, utilizando SPSS, a todas las muestras en conjunto y para cada una de las tres redes de drenaje diferenciadas en la zona. Los resultados revelan asociaciones de elementos y anomalías geoquímicas, que han sido geográficamente localizadas utilizando ArcGIS, las cuales están mayormente relacionadas con las mineralizaciones ya identificadas en la zona. No obstante, también se han establecido nuevas áreas fuente para futuras investigaciones.

Abstract

The main aim of this work is to carry out a statistical analysis of the contents of selected chemical elements in sediment and soil samples from the southwest of the Salamanca province, in order to identify new mineralizations and to establish relationships with the ones already known. For this purpose, a bibliographic compilation has been carried out, data of 26 chemical elements from 704 samples have been obtained, and a statistical treatment has been applied, using SPSS, to all the samples as a whole and for each of the three differentiated drainage systems in the area. The obtained results reveal element associations and geochemical anomalies, which have been geographically located using ArcGIS. These associations and geochemical anomalies are mostly related to the mineralizations already identified in the area. However, new source areas for future research have also been established.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	1
3. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA	1
3.1-SITUACIÓN GEOGRÁFICA	1
3.2-SITUACIÓN GEOLÓGICA.....	2
4. METODOLOGÍA DE TRABAJO	2
5. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y METALOGÉNICOS	5
6. GEOLOGÍA DE LA ZONA	5
6.1-ESTRATIGRAFÍA	6
6.1.1-PRECÁMBRICO SUPERIOR-CÁMBRICO INFERIOR.....	6
6.1.2-ORDOVÍCICO.....	7
6.1.3-CENOZOICO.....	7
6.2-ROCAS GRANÍTICAS	8
6.3-TECTÓNICA Y METAMORFISMO:	9
7. MINERALIZACIONES	10
7.1-MINERALES METÁLICOS.....	10
7.1.1-DISTRITO DE BARRUECOPARDO-LA FREGENEDA.....	10
7.1.2-ÁREA DE VILLAR DEL CIERVO-BAÑOBÁREZ.....	10
7.1.3-ÁREA DE LA BARQUILLA-CASTILLEJO DE DOS CASAS	11
7.1.4-ÁREA DE PUEBLA DE AZABA.....	11
7.1.5-ÁREA DEL GRANITO DEL JÁLAMA	13
7.1.6-ÁREA DE VILLASRUBIAS.....	13
7.1.7-ÁREA DEL GRANITO DE LA ALBERCA.....	14
7.1.8-ÁREA DE ALDEHUELA DE LA BÓVEDA-GARCIRREY.....	14
7.1.9-ÁREA DE SOBRADILLO-AHIGAL DE LOS ACEITEROS.....	14
7.2-RECURSOS ENERGÉTICOS: URANIO	15
7.2.1-ÁREA DE CIUDAD RODRIGO.....	15
7.2.2-ÁREA DE VILLAVIEJA DE YELTES-RETORTILLO	15
8. GEOQUÍMICA DE LA REGIÓN	16
8.1-FUNDAMENTO TEÓRICO	16
8.2-TRATAMIENTO APLICADO A LOS RESULTADOS ANALÍTICOS	16
8.3-CÁLCULO DE ANOMALÍAS ELEMENTALES	17
8.4-TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	20
8.4.1-ANÁLISIS UNIVARIANTE	20
8.4.2-ANÁLISIS BIVARIANTE	21
8.4.3-ANÁLISIS MULTIVARIANTE	24
9. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	26
9.1-ASOCIACIONES ENTRE ELEMENTOS.....	26
9.2-ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS.....	27
10. CONCLUSIONES	29
11.BIBLIOGRAFÍA	31
ANEXOS	34
A.-NORMALIDAD DE LOS DATOS	34
B.- ANALISIS ESTADÍSTICO PARA DETERMINAR SI EXISTEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE LOS VALORES MEDIOS DE LAS SUSTANCIAS POR REDES.....	34
C.-CONTRASTES CON LA CORTEZA CONTINENTAL SUPERIOR (C.C.S).....	35

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, diferentes autores han identificado y descrito numerosas mineralizaciones de Sn-W, Li y U del suroeste de la provincia Salamanca, junto con su contexto geológico y tectónico.

En este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se pretende tanto identificar como encontrar nuevos indicios mineralizados en esta zona, partiendo del tratamiento estadístico de los análisis químicos de muestras de sedimentos y suelos obtenidos de la base de datos del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), estableciéndose una comparación de los resultados obtenidos con las investigaciones geológicas y metalogénicas previas, para lo cual se ha llevado a cabo una exhaustiva recopilación bibliográfica, que será recogida en el apartado de antecedentes. Finalmente, se hará una valoración de las aportaciones de este estudio geoquímico al conocimiento del suroeste de la provincia de Salamanca.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente TFG es realizar un análisis estadístico de los resultados analíticos de 704 muestras de suelos y sedimentos del suroeste de la provincia de Salamanca y discutir su aplicación para la identificación de nuevas mineralizaciones y establecer su relación con las ya descritas en la zona.

Para cumplir con este objetivo general, se establecieron los siguientes objetivos particulares:

- ✓ Recopilar la información bibliográfica sobre los diferentes indicios mineralizados que existen en el distrito estudiado, incluyendo su contexto geológico y las características mineralógicas.
- ✓ Seleccionar, en función de ella, los elementos químicos de interés para el estudio.
- ✓ Obtener los resultados de los análisis químicos de la página Web del IGME y organizarlos en tablas con un formato compatible con el programa informático SPSS.
- ✓ Localizar geográficamente las muestras analizadas, utilizando el visor del IGME, separándolas por redes de drenaje.
- ✓ Llevar a cabo un tratamiento estadístico de los análisis químicos, utilizando el programa SPSS, para determinar los valores de fondo y las anomalías geoquímicas de los elementos seleccionados, así como las asociaciones entre ellos, tanto a nivel comarcal como para cada red de drenaje.
- ✓ Ubicar las muestras con anomalías geoquímicas sobre la base topográfica del IGN y los mapas geológicos, serie MAGNA, utilizando el software ArcGIS, realizando una división por redes de drenaje.
- ✓ Establecer las posibles áreas fuente de los elementos químicos anómalos y determinar su relación con las mineralizaciones ya conocidas en la zona y la posible existencia de otras mineralizaciones no identificadas.

3. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

3.1-SITUACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de estudio está situada en el suroeste de la provincia de Salamanca y de la comunidad autónoma de Castilla y León, en la parte centro-occidental de España, ocupando la mayor parte de doce de las hojas del Mapa Topográfico de España (MTN) a escala 1:50.000 (Fig. 1).

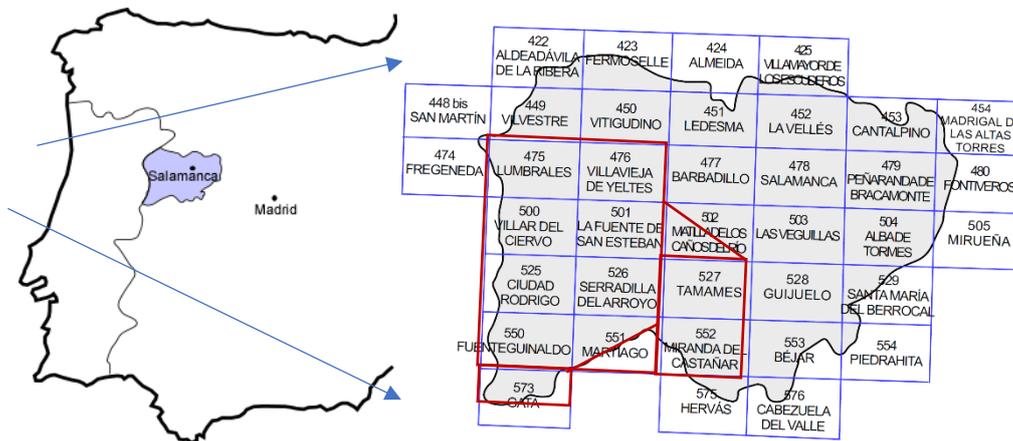


Fig. 1-Situación geográfica del área de estudio, mostrando las hojas del MTN.

3.2-SITUACIÓN GEOLÓGICA

Geológicamente, la zona de estudio se encuentra dentro de la Zona Centroibérica del Macizo Ibérico, la cual representa la extensión suroeste del Cinturón Varisco Europeo, específicamente, en el Dominio del Complejo Esquisto-grauváquico (Julivert et al., 1972, Martínez Catalán, 2011) (Fig. 2).

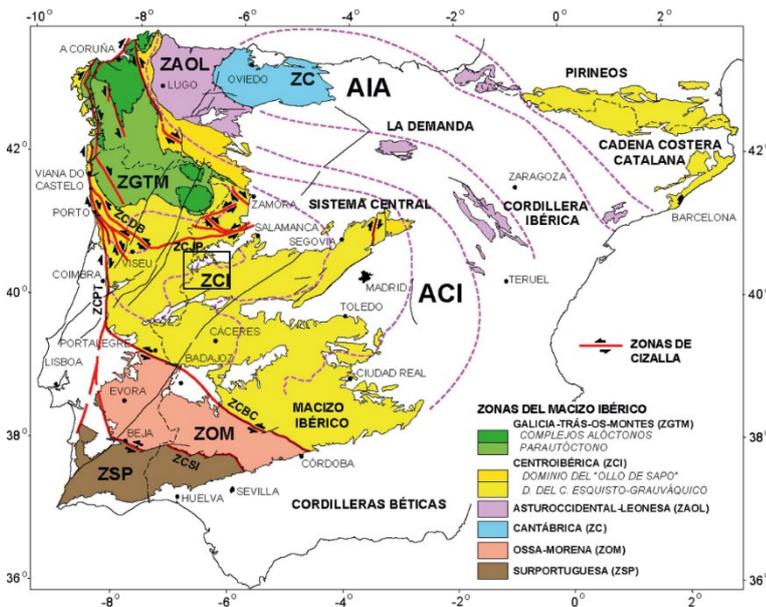


Fig. 2-División en zonas del Macizo Ibérico (Julivert et al., 1972, Martínez Catalán, 2011) con la localización del área estudiada.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para alcanzar los objetivos planteados en el presente trabajo, se ha realizado una recopilación bibliográfica previa sobre la geología y las mineralizaciones existentes en el área de estudio.

A continuación, se ha llevado a cabo un estudio geoquímico, basado en el tratamiento estadístico de los datos analíticos obtenidos de la Base de Datos Geoquímica del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), correspondientes a la campaña Mapa Geoquímico de España, publicada en 2012.

Se han tenido en cuenta los análisis químicos de 26 elementos de 704 muestras distribuidas en las hojas 475,476, 500, 501, 502, 525, 526, 527, 550, 551, 552 y 573 del Mapa Geológico Nacional (MAGNA) (Fig. 3).

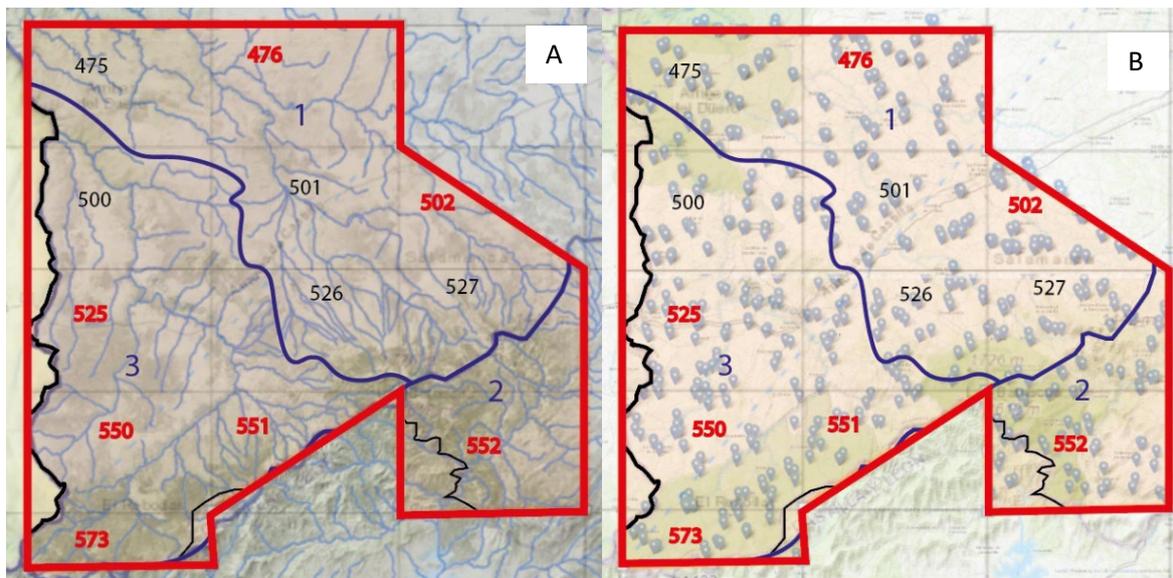


Fig. 3- A)-Situación del área de estudio indicando los números de las hojas del MTN y la división de las redes de drenaje y localización de las muestras estudiadas. B)- Localización de las muestras estudiadas en el mapa con la distribución de las hojas del MTN y la división de las tres redes de drenaje diferenciadas.

Los archivos descargados contienen los siguientes datos para cada análisis:

Código identificador: número de identificación único para cada análisis, por ejemplo: 51911475C10

Campaña: nombre de la campaña de muestreo, en este caso, Mapa Geoquímico España.

Año: el año en que se realizó el análisis, que es 2012.

Tipo de muestra: clasificación de la muestra, que puede ser sedimento, suelo o suelo C.

Sustancia: elementos analizados en la muestra.

Concentración: cantidad de cada elemento en la muestra, expresada en partes por millón (ppm) o como un porcentaje.

Técnica de análisis: el método utilizado para el análisis químico.

Límite de detección: el nivel mínimo de concentración para el que se puede detectar un elemento en la muestra. Esta información es fundamental para interpretar los resultados de los análisis y determinar su fiabilidad.

Los elementos se han elegido considerando las diversas mineralizaciones presentes en la zona, identificadas en la recopilación bibliográfica previa del área de estudio. Son los siguientes: Ag, Be, Bi, Ca, Cd, Cs, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Nb, P, Pb, Rb, S, Sb, Sn, Ta, Th, Ti, V, W, Y, Zn y Zr. En lo relativo a las mineralizaciones de estaño (wolframio)±litio, los elementos principales, indicadores, seleccionados han sido Sn W y Li, considerando como posibles asociados: Nb, Ta, Ca, As, Fe, V, Au, Ag, S, Sb, Bi, Cu, Mo, ±Mn, P, Be, Cs y Rb, así como Ti y Zr, especialmente en los depósitos de tipo placer. En cuanto a las mineralizaciones de sulfuros, los elementos indicadores ha sido el Pb, Zn Cu y Fe, considerando como posibles elementos asociados: S, Se, As, Sb, Cd, Co, Ni, Bi y Ag. Finalmente, respecto a las mineralizaciones de uranio, debido a que la base de datos utilizada carece de análisis químicos de U, se han considerado los elementos que normalmente van asociados: Th e Y, así como Fe, Cu, Zn y Pb.

A continuación, se presenta la distribución de las 704 muestras consideradas en este TFG, en las hojas del MAGNA (Fig. 4).

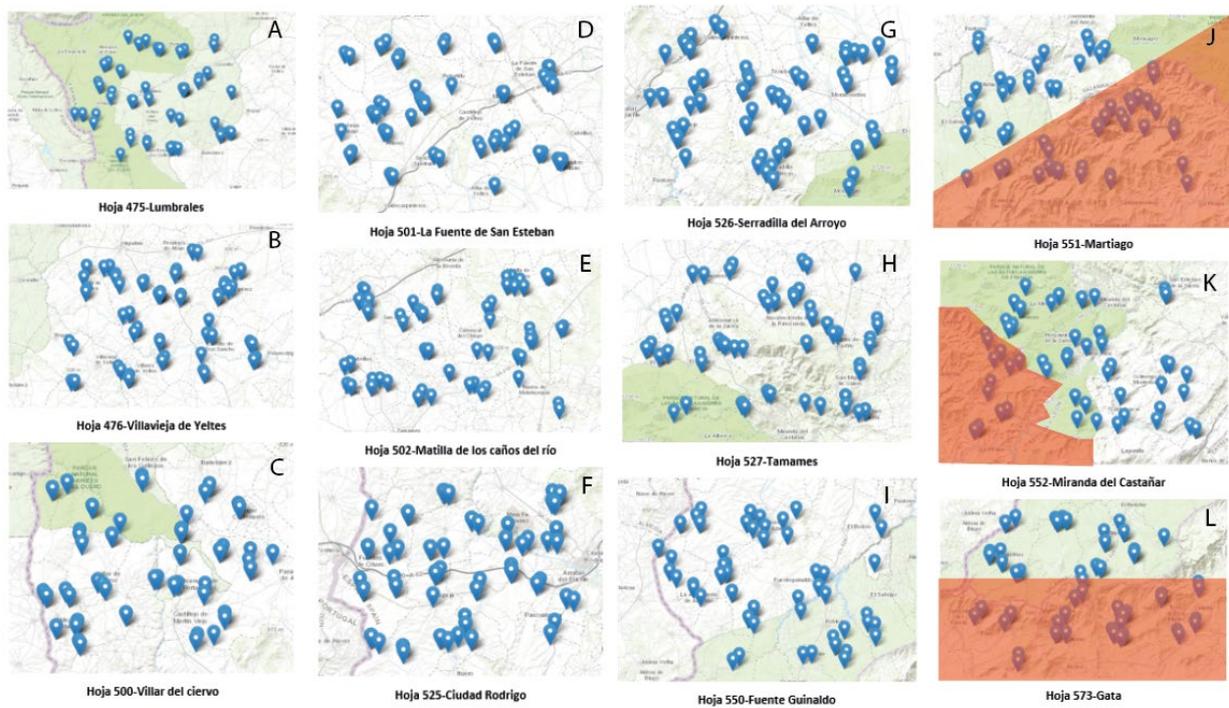


Fig. 4-Distribución de las muestras consideradas en este TFG, en las distintas hojas del MTN que abarca la zona de estudio.

Para la ubicación de las muestras, se elaboró, además, un mapa de la zona, utilizando el Visor IGME, que se dividió en tres grupos según las cuencas de drenaje establecidas con la ayuda del mapa topográfico e hidrológico proporcionado por el Visor IGN (Fig. 3-B).

El procedimiento seguido en la obtención de los datos de los análisis químicos fue el siguiente:

Los archivos se descargaron de la base de datos del IGME en formato Microsoft Excel. Debido a que el número de muestras superaba las 500 (límite máximo de muestras que se pueden descargar de manera simultánea), fue necesario dividir la zona estudiada en dos áreas diferentes, realizando dicho proceso para cada uno de los elementos citados anteriormente.

Posteriormente se ha realizado el tratamiento estadístico (análisis univariante, bivalente y multivariante), para el conjunto de todos los datos y por separado para cada una de las redes de drenaje diferenciadas, utilizando el software IBM SPSS Statistics, Versión 27.0.

Se ha calculado la media y desviación estándar de los valores de cada elemento, que han sido comparados con los valores medios en la Corteza Continental Superior (CCS), y se han determinado las anomalías geoquímicas, las cuales fueron proyectadas sobre los mapas topográfico y geológico, utilizando el programa ArcGIS, para tener una visión espacial. Igualmente, se establecieron las asociaciones de elementos químicos a partir de los análisis bivalente y multivariante. Finalmente, se realizó la interpretación de los resultados obtenidos.

Para la elaboración de la memoria se han utilizados los siguientes programas informáticos: Microsoft Excel 2016, para organizar los datos en tablas y realizar algunos gráficos, Adobe Illustrator y Canva X para elaborar las figuras y los mapas geológicos con la situación de los distritos e indicios mineros y Microsoft Office Word 2016 para editar la memoria.

5. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y METALOGÉNICOS

Este apartado abarca trabajos cartográficos regionales, sobre la geología y metalogenia de la zona de estudio, estudios monográficos que describen la minería del área y trabajos de investigación más específicos.

Entre las síntesis cartográficas publicadas por el IGME, cabe citar las siguientes:

- Mapa metalogénico de España 1:200.000, hoja 36 (Vitigudino)
- Mapa metalogénico de España 1:200.000 (serie antigua), hojas: 36 (Vitigudino), 37 (Salamanca), 43 (Plasencia) y 44 (Ávila).
- Mapa geológico de España 1:1.000.000.
- Serie MAGNA: hojas 475, 476, 500, 501, 502, 525, 526, 527, 550, 551, 552 y 573.

Entre los trabajos dedicados a los estudios geológicos y estructurales, se encuentran los de Rodríguez Alonso (1985), Rodríguez Alonso et al. (2004), Rodríguez Alonso y Alonso Gavilán (1995), Carballeira et al. (1980), Díez Balda (1986), Díez Balda et al. (1995), Martín Herrero (1989), San José et al. (1990), Ugidos et al. (1997); Valladares et al. (2000, 2002), Martínez Catalán et al. (2004), Cantano y Molina (1987) y Mediavilla y Martín-Serrano (1989).

Respecto a las investigaciones geológico-mineras y metalogenéticas llevadas a cabo en la zona de estudio, se pueden citar las siguientes:

- 1) El estudio geológico-minero realizado por la Junta de Castilla y León en los años 80, que fue actualizado y completado por SIEMCALSA (1997), y algunos trabajos de carácter general sobre las mineralizaciones de Sn-W del NO de la Península Ibérica, como son los de Gonzalo Corral y López Plaza (1983) y Murciego et al. (1987) o sobre las de Li de la provincia de Salamanca, entre las que cabe citar las de Martín Izard et al. (1992) y las de Roda et al. (2015a).
- 2) Los trabajos sobre las mineralizaciones de $\text{Sn}\pm\text{Nb-Ta}\pm\text{Li}$, realizados por Martín-Izard y Palero (1985) y Roda et al. (2015b), en Castillejo de Dos Casas; Pascua et al. (1997) y Murciego et al. (1991, 1992) en La Barquilla; Fort y Gonzalo (1985) en Puebla de Azaba; Martín Izard et al. (1992), Roda et al. (2018) y Barrios (2021) en el campo pegmatítico de Aldehuela de la Bóveda, Llorens (2011) en el distrito de Navasfrías y Llorens y Moro (2010a) en Mina La Canalita en Villasrubias.
- 3) Los trabajos sobre las mineralizaciones de Sn (Nb-Ta)-Mo de Mina Mari Tere en Lumbrales de Murciego et al. (1992) y García Luis (1992) y García Luis et al. (1995).
- 4) Las investigaciones sobre las mineralizaciones de W-(Sn) \pm Au de López Plaza et al. (1982, 1984) en el área de Villar del Ciervo-Bañobárez, González et al. (2000) en El Cabaco y Llorens (2011), Llorens et. al (2010b) en el distrito de Navasfrías.
- 5) Entre los trabajos sobre las mineralizaciones de U, destacan los llevados a cabo por Arribas (1970, 1985, 1992) y Martín Izard et al. (2002) en el Área de Ciudad Rodrigo y por Huertas et al. (2015) en la zona de Villavieja de Yeltes-Retortillo.

6. GEOLOGÍA DE LA ZONA

En este apartado se describen las características geológicas y tectónicas más notables del área de estudio.

6.1-ESTRATIGRAFÍA

La zona estudiada se caracteriza por la presencia de secuencias de rocas metamórficas que abarcan desde el Precámbrico hasta el Ordovícico, y sedimentarias de edad Cenozoico, así como rocas ígneas, fundamentalmente graníticas (Figs. 5 y 6).

6.1.1-PRECÁMBRICO SUPERIOR-CÁMBRICO INFERIOR

Los materiales de edad Precámbrico inferior-Cámbrico inferior están representados en esta zona por el denominado Complejo esquisto grauváquico (CEG), dentro del cual se pueden distinguir dos unidades litoestratigráficas principales: Unidad Inferior y Superior (Rodríguez Alonso, 1985; Díez Balda, 1986, Valladares et al., 2000).

La Unidad Inferior se encuentra ampliamente expuesta en el sector del Sur de Salamanca-Ciudad Rodrigo-Hurdes-Sierra de Gata y ha sido denominada "Serie Inferior", que ha sido subdividida en tres unidades por Ugidos et al. (1997) y Valladares et al. (2000, 2002). Presenta una sucesión monótona de lutitas y areniscas con intercalaciones esporádicas de conglomerados, anfibolitas y rocas vulcanoclásticas. El límite inferior de esta unidad aún no se conoce con certeza, pero se interpreta principalmente como depósitos de turbiditas de abanicos submarinos, taludes y canales (Rodríguez Alonso, 1985; San José et al., 1990; Valladares et al., 2000).

La Unidad Superior del CEG se correlaciona con las Formaciones Monterrubio y Aldeatejada, de acuerdo con Díez Balda (1986). Asimismo, se puede correlacionar con las "Series Intermedia y Superior", las cuales se subdividen en nueve unidades de acuerdo con Ugidos et al. (1997) y Valladares et al. (2000, 2002). La Unidad Superior muestra una mayor variabilidad litológica en comparación con la Serie Inferior. Está compuesta principalmente por lutitas negras con intercalaciones de areniscas y conglomerados, así como niveles olistostrómicos, calizas, intercalaciones y nódulos fosfatados, y ocasionalmente niveles vulcanoclásticos. Estos depósitos representan la sedimentación en diferentes ambientes paleogeográficos.

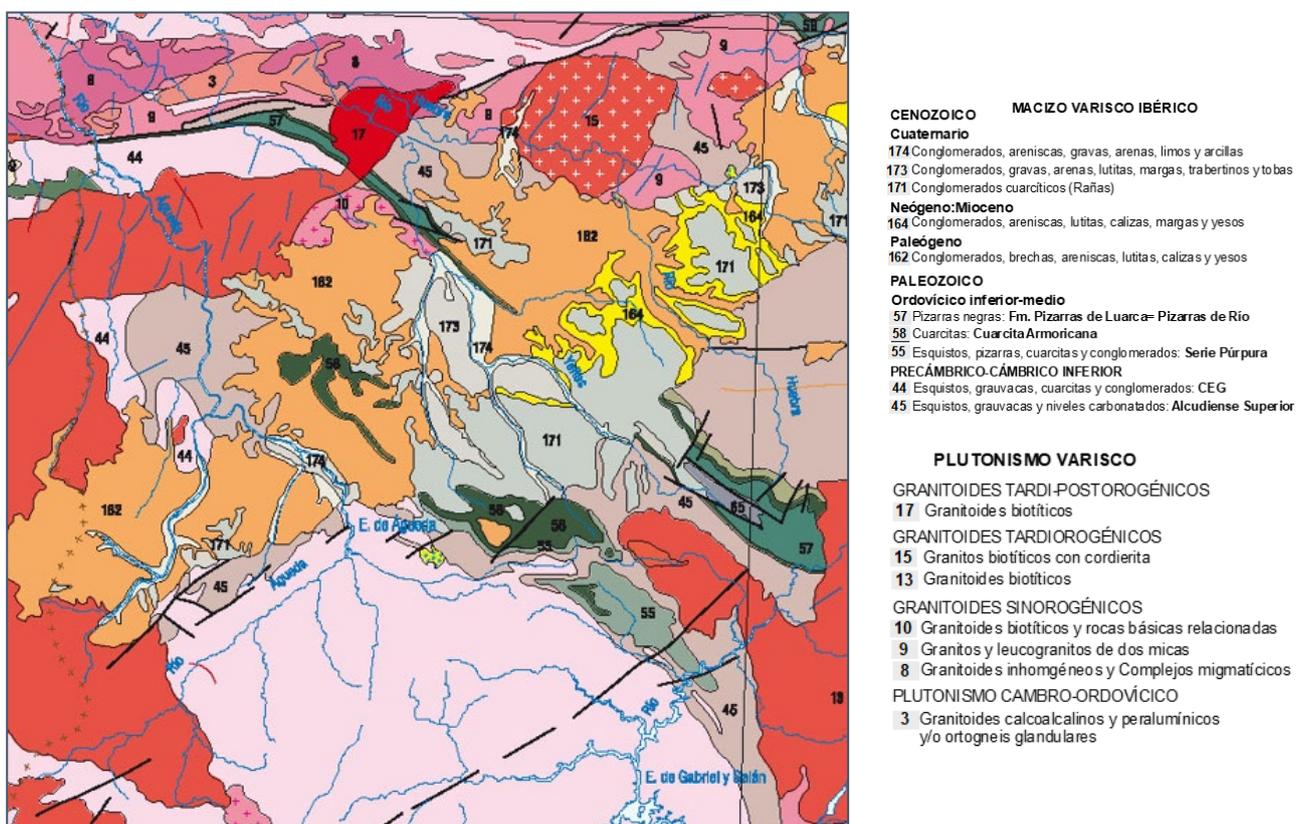


Fig. 5-Mapa geológico de la zona de estudio (tomado del Mapa Geológico de la Península Ibérica, a escala 1:1000000).

6.1.2-ORDOVÍCICO

El Ordovícico en la región oeste de Salamanca muestra un carácter regionalmente transgresivo, y se encuentra en discordancia con el CEG, a veces poco clara debido a la presencia de los recubrimientos Cenozoicos.

Este periodo geológico presenta una gran complejidad estratigráfica en el suroeste de Salamanca, y se puede observar en tres unidades estructurales distintas: el Sinclinal de Salamanca-Golpejas, el Sinclinal de Tamames-Ahigal y el Sinclinal de la Sierra de Francia-Torralba.

Ordovícico Inferior (Cuarcita Armoricana):

En el Sinclinal de Tamames-Ahigal y en el Sinclinal de la Sierra de Francia-Torralba, los materiales aflorantes son predominantemente cuarcíticos y parecen corresponder a la Unidad III según la subdivisión propuesta por Carballeira et al. (1980) para el Ordovícico inferior de la Sierra de Francia. Sin embargo, no están o no se encuentran bien representadas la Unidad I basal, compuesta por conglomerados y areniscas, ni la Unidad II intermedia, formada por areniscas, cuarcitas y pizarras.

Ordovícico medio (Pizarras de Endrinal):

Los materiales de esta edad corresponden principalmente a pizarras grises y negras que pueden pasar a esquistos negros con quistolita, aflorantes al norte del balneario de Retortillo y en el núcleo del Sinclinal de Tamames-Ahigal. En el extremo meridional de este sinclinal, los materiales presentan niveles intercalados de areniscas hacia la base y, ocasionalmente, niveles de metavulcanitas en la parte superior.

6.1.3-CENOZOICO

En términos de cronología, los sedimentos más recientes presentes en la zona corresponden a los depósitos Cenozoicos de la Cuenca de Ciudad Rodrigo, ubicada en el extremo suroccidental de la Cuenca del Duero y formada al final del Paleoceno, debido a la fase compresiva de la orogenia Alpina.

Los sedimentos cenozoicos en esta Fosa se dividen en varias Unidades Tectosedimentarias. La primera unidad, discordante sobre los materiales variscos, está compuesta por conglomerados, microconglomerados, areniscas, areniscas arcósicas y lutitas de edad Eoceno-Oligoceno. La segunda unidad, de edad Oligoceno-Mioceno Inferior, consiste en conglomerados, microconglomerados, arenas y lutitas arcósicas blancas que se disponen de manera discordante sobre la unidad anterior y sobre las rocas del Paleozoico. Sobre estas unidades se encuentra una capa de lutitas rojas, arenas y conglomerados rojos de edad Mioceno Inferior-Medio, que se dispone discordante sobre el Paleógeno y es truncada por terrazas fluviales del Pliocuatnario. Finalmente, se encuentran unos depósitos similares a las "rañas" y a las "series rojas" (Cantano y Molina, 1987; Mediavilla y Martín-Serrano, 1989) que datan del Mioceno Superior-Plioceno y consisten, principalmente, en conglomerados silíceos, areniscas y lutitas ocreas.

Los depósitos cuaternarios de la región, de edad Pleistoceno-Holoceno, están compuestos por diferentes formaciones geológicas: 1) terrazas, formadas por conglomerados silíceos, arenas y limos, que se encuentran a lo largo de los ríos, 2) depósitos aluviales que son acumulaciones de limos, arenas y gravas que se forman en los lechos de los ríos y se depositan en áreas de inundación, 3) conos de deyección que corresponden a acumulaciones de materiales sueltos depositados en forma de conos en llanuras o valles amplios y 4) coluviones que son depósitos de arenas y gravas que se encuentran en las laderas de las sierras cuarcíticas.

En términos generales, en la zona de estudio no afloran sedimentos Paleozoicos ni Mesozoicos posteriores al Ordovícico, por lo que a continuación se describen los materiales del Cenozoico.

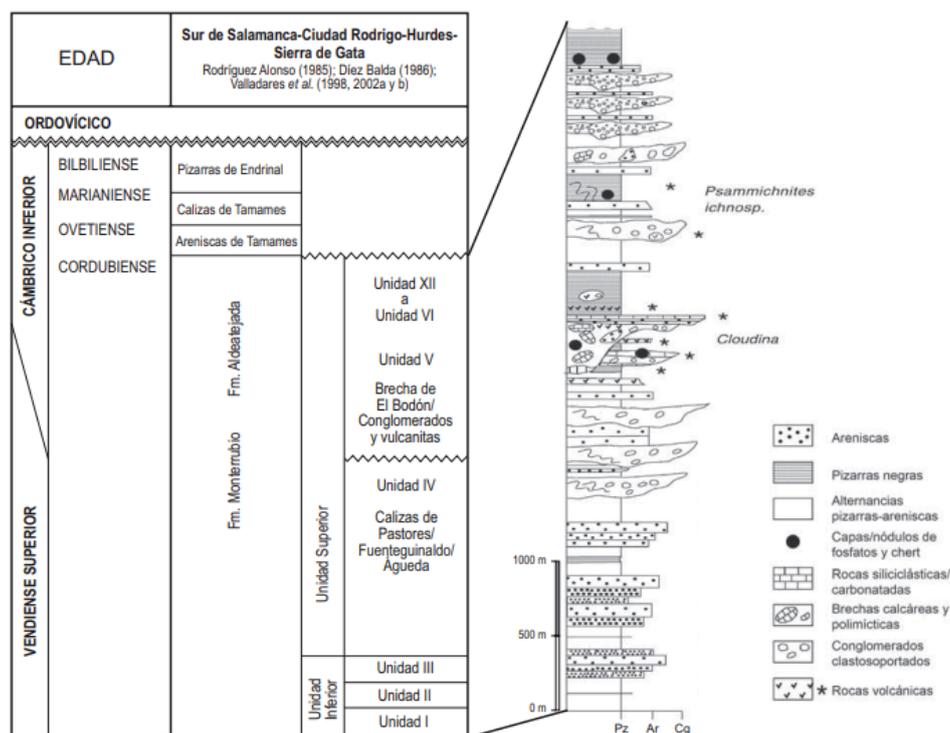


Fig. 6-Cuadro cronoestratigráfico de correlación de las distintas Unidades y Formaciones preordovícicas definidas en la zona de Salamanca-Ciudad Rodrigo-Hurdes-Sierra de Gata (Martínez Catalán et al., 2004) y secuencia estratigráfica (Rodríguez Alonso et al., 2004).

6.2-ROCAS GRANÍTICAS

En la **región norte del área estudiada**, las rocas graníticas corresponden a dos grupos formados por leucogranitos y granitos de dos micas de tendencia alcalina y un tercer grupo constituido por granitos de tendencia calcoalcalina.

-Grupo 1: granitoides de la Formación del Álamo.

Se trata de diques de leucogranitos y pegmatoides paraconcordantes con los materiales metamórficos, esencialmente metapelitas, los cuales han sido afectados por las dos fases principales de deformación varisca, siendo la segunda la que ha boudinado los diques menos potentes.

-Grupo 2: Granitos de dos micas

Este grupo está formado por granitos de dos micas de grano medio y de grano fino con cordierita. Son pre- a sincinemáticos respecto a la fase II de deformación varisca.

-Grupo 3: Granitos calcoalcalinos

Están integrados por los granitos calcoalcalinos de biotita de grano grueso y granitos calcoalcalinos de dos micas de grano grueso y granitos de grano grueso de dos micas con cordierita. Son sincinemáticos tardíos respecto a la segunda fase de deformación varisca, y representan el plutonismo más tardío.

En la región norte del área de estudio, a escala local, entre los **granitos pre- a sin-cinemáticos**, de dos micas, cabe citar: 1) los granitos de Las Arribes, 2) el granito de Lumbrales (complejo granítico ligado al proceso de migmatización del encajante metamórfico con el que se encuentra en contacto gradual), 3) el granito de La Redonda y 4) los granitos de Doñinos de Ledesma y de Juzbado. Entre los **granitos tardi- a post-orogénicos** se encuentran: 1) Los batolitos de Villar de Ciervo-Bañobárez.

El primero presenta tres litologías principales: granito biotítico porfídico de grano grueso, leucogranitos cupuliformes y diques porfídicos ácidos. El macizo de Bañobárez está constituido por la granodiorita de Bañobárez y un conjunto de rocas de composición tonalítica-granodiorítica. 2) El macizo de Villavieja de Yeltes que presenta dos facies, una mayoritaria constituida por un granito de dos micas de grano grueso-muy grueso con cordierita, no porfídico y la otra constituida por un leucogranito moscovítico de grano medio-fino y 3) los macizos de Cipérez y Garcirrey, el primero constituido fundamentalmente por un granito de dos micas no porfídico, con texturas en “ala de mosca” y tamaño de grano grueso a muy grueso, en el de Garcirrey la facies mayoritaria es un granito de dos micas, porfídico, de grano grueso-muy grueso, con cordierita (Carnicero, 1980, 1981, López-Plaza et al., 1984).

Entre los **diques pegmatíticos** que afloran en el área estudiada, se encuentran las pegmatitas de Castillejo de dos Casas que intruyen en la Serie Superior, muy cerca del borde N del granito Fuentes de Oñoro y las de Aldehuela de la Bóveda, que encajan en los granitos de dos micas o en los esquistos de la Fm. Monterrubio (Carnicero, 1981).

En la parte sur del área de estudio, entre las rocas graníticas se encuentran una serie de plutones alóctonos de composición peraluminica y zonados, que desarrollan una aureola de metamorfismo de contacto, cuya paragénesis mineral indica una profundidad de emplazamiento somera (Ramírez y Grundvig, 2000). Son los siguientes batolitos:

- **Batolito de Jálama:** se trata de un cuerpo alóctono que se extiende desde la zona centro-este de Portugal hasta el sur de Salamanca y el norte de Cáceres. Tiene una forma elíptica y discordante, con su eje mayor orientado en dirección NNW-SSE. Presenta una amplia variedad litológica y una clara zonación de las facies graníticas. Su emplazamiento tuvo lugar después de las principales fases de deformación Varisca (D1 y D2).

- **Batolito de Cadalso-Casillas de Flores:** está compuesto por granitoides pertenecientes a la prolongación más meridional del batolito de Guarda en Portugal. Tiene una forma alargada en dirección NO-SE. En su mayoría, intruye en los materiales metamórficos preordovícicos del CEG. Sin embargo, en el sector NO, está cubierto por los sedimentos terciarios y cuaternarios del borde sur de la cuenca de Ciudad Rodrigo (Hassan, 1996).

6.3-TECTÓNICA Y METAMORFISMO:

Las estructuras tectónicas y el metamorfismo identificados en la zona de estudio son consecuencia principalmente de la Orogenia Varisca. Aunque también ha sido afectada, en menor medida, por la Orogenia Alpina.

La Orogenia Varisca, es la responsable de la deformación dominante y del metamorfismo regional en esta área. En general, consta de tres fases de deformación superpuestas (Díez Balda, 1980, Díez Balda et al., 1995).

La primera fase de deformación, D1, provocó un acortamiento inicial debido al desarrollo de grandes pliegues con un plano axial mayormente vertical o inclinado hacia el NE-SE, que muestran una esquistosidad axial (S1). El metamorfismo regional desarrollado durante esta fase es de bajo a muy bajo grado y presión intermedia a baja.

La segunda fase de deformación, D2, dio lugar a la formación de pliegues con un plano axial subhorizontal que deforman las estructuras de la primera fase, desarrollando una esquistosidad subhorizontal (S2) en áreas de metamorfismo de grado medio a alto. Durante esta fase el metamorfismo es de menor presión que en la D1.

La tercera fase de deformación, D3, es homoaxial con la D1 y provoca el apretamiento de las estructuras de primera fase. Se forman principalmente pliegues de gran longitud de onda y pequeña

amplitud de dirección NO-SE, acompañados de pliegues menores. Simultáneamente se generan dos sistemas de zonas de cizalla dúctil subverticales, de direcciones N70°E y N130°E, así como dos sistemas de fracturas con direcciones N115°E y N70°E. En términos metamórficos se da una transición de grado bajo a medio.

Las deformaciones tardías se caracterizan principalmente por dos sistemas de pliegues de baja longitud de onda: uno con dirección N10-35°E y otro N100-120°E, asociados a fallas. Igualmente, se observa una fracturación tardi-varisca que afecta tanto en los materiales del CEG, como a las rocas graníticas.

Durante **la Orogenia Alpina**, se producen una serie de cabalgamientos de diferente magnitud (Vegas y De Vicente, 2004). Estos movimientos tectónicos alpinos posiblemente se superpusieron a las estructuras tardi-variscas, reactivando las fracturas en las direcciones predominantes de los cabalgamientos.

7. MINERALIZACIONES

En el área de estudio, SIEMCALSA (1997) diferenció varias áreas o distritos mineros, en los cuales se localizan las mineralizaciones de las distintas menas metálicas y los recursos energéticos, recogidos en la figura 8, que han sido tomados como base en la descripción de las mineralizaciones, añadiéndose algunas zonas nuevas no recogidas en la misma.

7.1-MINERALES METÁLICOS

7.1.1-DISTRITO DE BARRUECOPARDO-LA FREGENEDA

El distrito ocupa una extensa área al oeste de la provincia de Salamanca, que se extiende desde la frontera con Portugal en el oeste, hasta Encinasola de los Comendadores en el este. Limita al sur con Lumbrales y al norte con Masueco (Fig. 7). El área de estudio abarca en este distrito las mineralizaciones de Lumbrales.

Mineralizaciones de Sn (Nb-Ta)-Mo de Lumbrales

Estas mineralizaciones se encuentran en el término municipal de Lumbrales, en el noroeste de la provincia de Salamanca, dentro de la hoja 475 (Lumbrales), siendo explotadas en el pasado en la Mina Mari Tere.

La mineralización en Mina Mari Tere se encuentra en filones de cuarzo subverticales, que encajan en el CEG migmatizado (Fig. 8). Está compuesta principalmente por casiterita y molibdenita, acompañadas de otros sulfuros como arsenopirita, piritita, calcopirita, lollingita, estannina, bornita y digenita, así como sulfosales como la tenantita (Murciego et al., 1992). La casiterita presenta Nb y Ta formando parte de su estructura, en sustituciones isomorfas del Sn, así como en microinclusiones de minerales como la columbotantalita o ilmenorutilo-estruverita.

7.1.2-ÁREA DE VILLAR DEL CIERVO-BAÑOBÁREZ

Está situada al oeste de la provincia de Salamanca, al sur de la anterior, integrando las mineralizaciones asociadas al granito de Villar del Ciervo-Bañobárez, dentro de las hojas 475 (Lumbrales) y 500 (Villar del Ciervo) (Figs. 7 y 8).

Mineralizaciones de W±Sn de Villar de Ciervo-Bañobárez

La mineralización se dispone en filones y stockwork de cuarzo, de dirección N90-110°E, próximos a los contactos, norte o sur, del granito, encajados tanto en el granito como en las rocas metamórficas del CEG (Gonzalo y López Plaza, 1983; Reguilón et al. 2001), SIEMCALSA, 1997). Está constituida por scheelita, wolframita o casiterita.

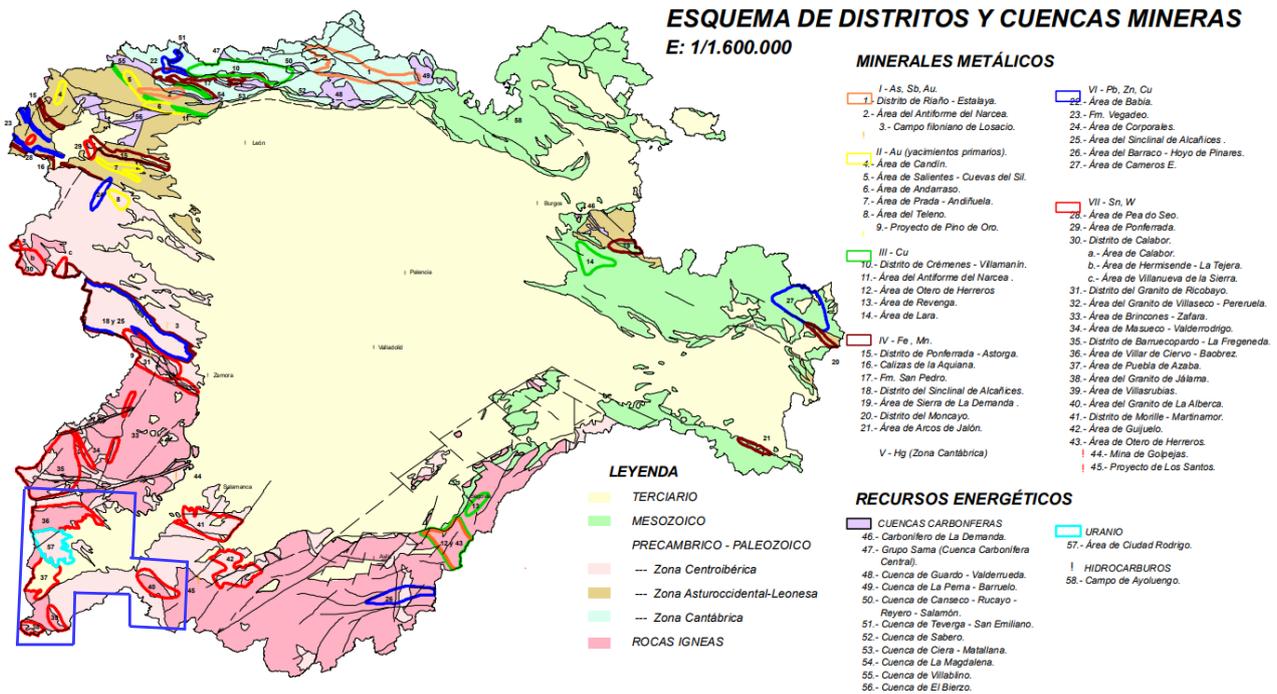


Fig. 7-Mapa de distritos y cuencas mineras de Castilla y León con la situación de la zona de estudio (recuadros morados) (SIEMCALSA, 1997).

7.1.3-ÁREA DE LA BARQUILLA-CASTILLEJO DE DOS CASAS

Mineralizaciones de Sn-Nb-Ta-Li de La Barquilla

Se trata de un extenso campo filoniano con una orientación que oscila entre N-S y NE-S, de espesor variable, encajados en los materiales del CEG (Murciego et al., 1991).

En las minas Aurora y La Inesperada, aquí ubicadas, la mineralización está compuesta principalmente por casiterita y montebrasita, acompañadas de albita y apatito, y proporciones menores de minerales del grupo de la columbita (MGC) y microlita, así como Bi nativo y sulfuros (calcopirita, galena, covelina) y sulfosales de Ag, Bi, Pb y Cu. Aparecen dos generaciones de casiterita, la primera contiene inclusiones de microlita y columbotantalita, mientras que la segunda muestra contenidos muy bajos de Nb y Ta (Pascua et al., 1997, Murciego et al., 1991)

Mineralizaciones de Sn-Nb-Ta-Li de Castillejo de dos Casas

La mineralización de esta zona está localizada en el límite del Batolito de Fuentes de Oñoro, en el contacto con el CEG, asociada a un granito de aspecto pegmatítico, de tipo stockscheider, y se originó en diferentes etapas. Durante las primeras, se desarrollaron cuerpos pegmatíticos, ricos en fosfatos de Li (ambligonita-montebrasita). En las etapas finales, se formaron micropegmatitas que pueden llevar asociada una campana de cuarzo, que contienen casiterita con microinclusiones de columbotantalita (Martín-Izard y Palero, 1985). Roda et al. (2015b) las considera pegmatitas LCT con lepidolita, formadas por cristalización fraccionada.

7.1.4-ÁREA DE PUEBLA DE AZABA

Está situada al oeste de la provincia de Salamanca, en las hojas 525 y 550 del MTN de E. 1:50.000, en la terminación occidental de la Cuenca de Ciudad Rodrigo. En este distrito se encuentran los depósitos secundarios de Puebla de Azaba y La Almedilla.

Depósitos de Sn-Nb-Ta-Ti de Puebla de Azaba y La Alamedilla

Se trata de una mineralización de tipo placer que está constituida principalmente por ilmenita y casiterita con microinclusiones de columbotantalita, presentando como accesorios monacita, rutilo y circón (Junta de CyL, 1988, SIEMCALSA, 1997).

En esta zona pueden diferenciarse tres tipos de depósitos (Fort y Gonzalo, 1985):

- 1) Depósitos terciarios: la mineralización tiene menos del 20% de casiterita e ilmenita.
- 2) Depósitos deluviales: presentan un 58% de ilmenita y un 10% en casiterita.
- 3) Depósitos aluviales: la proporción de minerales pesados que presenta es variable, en función de los materiales por donde discurre el cauce de los ríos.

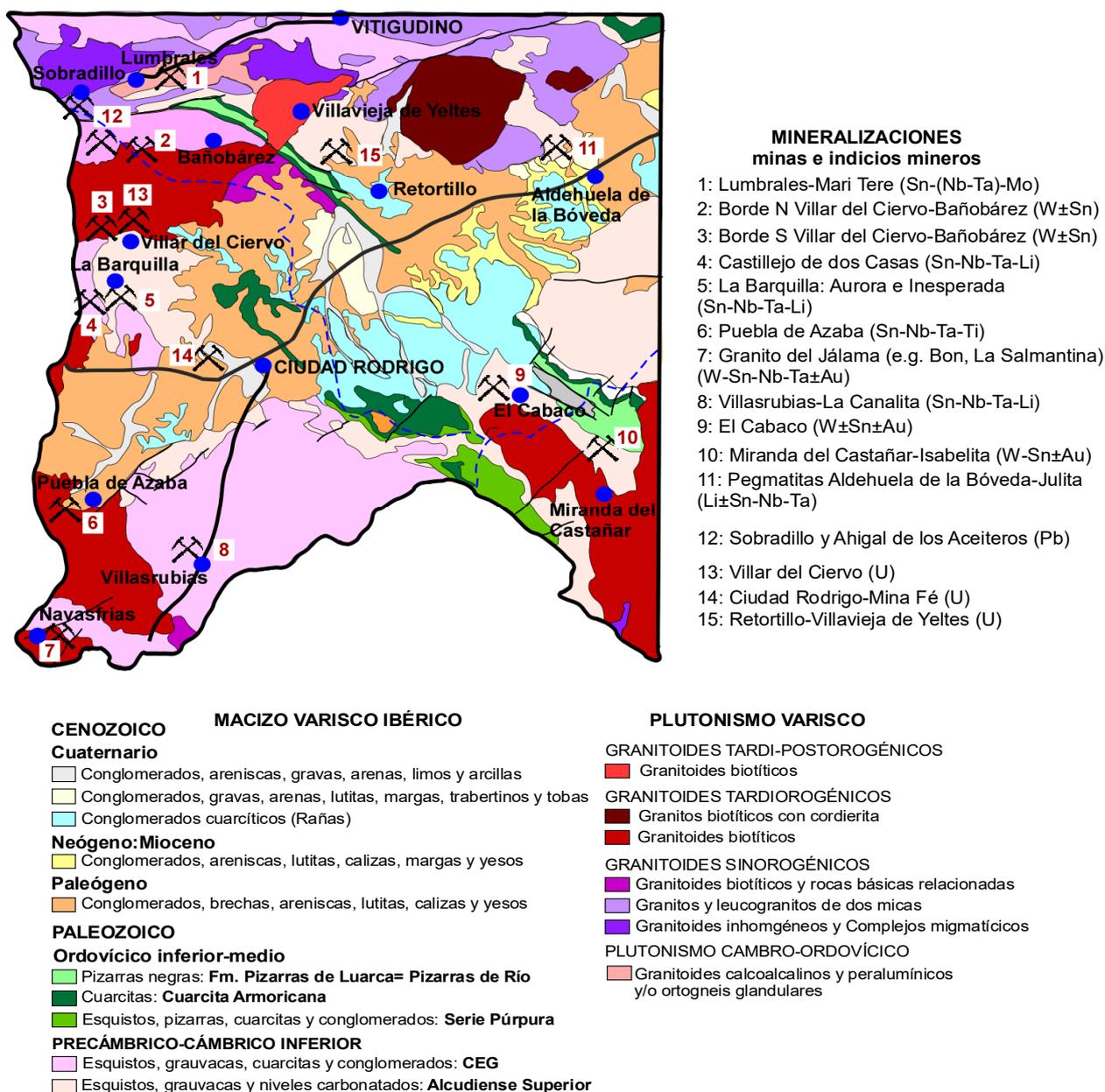


Fig. 8-Situación geográfica y geológica de las mineralizaciones y/o minas de la zona de estudio.

7.1.5-ÁREA DEL GRANITO DEL JÁLAMA

En el SO de la provincia de Salamanca, las mineralizaciones se encuentran estrechamente relacionadas con dos importantes batolitos: Jálama y Cadalso-Casillas de Flores, los cuales encajan en los materiales metamórficos del CEG.

El área del granito del Jálama, está situada en los municipios de Navasfrías y El Payo, dentro de la hoja 573 del MTN, E. 1:50.000 (SIEMCALSA, 1997).

Distrito minero de Sn-W-Nb-Ta±Au de Navasfrías

En este distrito, las mineralizaciones han sido explotadas en diversas minas de pequeña escala, entre las que cabe citar Mari Carmen, Horia, Bon, Cruz del Rayo y La Salmantina.

Se encuentran asociadas a la Unidad Externa (UE) del batolito del Jálama, donde se han identificado mineralizaciones de Sn-W-(Nb-Ta) que han sido clasificadas en tipos distintos según su mineralogía (Llorens, 2011):

- 1) Casiterita, rutilo, ilmenita y tantalita-(Fe), diseminados en las facies de borde de la UE, especialmente en el leucogranito y las aplitas de borde con turmalina.
- 2) Casiterita, rutilo y rutilo rico en Ta, diseminados en los diques pegmatíticos intra-batolíticos.
- 3) Casiterita y minerales del grupo de la columbita (MGC) en los diques pegmatíticos peribatolíticos de Cruz del Rayo (Llorens y Moro, 2010b).
- 4) Casiterita y/o wolframita en las venas de cuarzo encajadas en las facies de borde de la UE (Llorens, 2011).

7.1.6-ÁREA DE VILLASRUBIAS

En esta área, situada al este de la anterior, en los municipios de Robleda, Villasrubias y Peñaparda (Salamanca), en las hojas 550 y 573 del MTN de E. 1:50.000 (SIEMCALSA, 1997), las mineralizaciones se encuentran asociadas al Batolito de Cadalso-Casillas de Flores. Llorens (2011) diferenció dos tipos de mineralización según su mineralogía:

- 1) Casiterita y/o wolframita en venas de cuarzo encajadas en las facies graníticas.
- 1) Casiterita y minerales del grupo de la columbita (MGC) y del pirocloro diseminados en los diques aplíticos y pegmatíticos peribatolíticos, que afloran en la Mina La Canalita.

Esta área, investigada en 2019 por SIEMCALSA, es actualmente objeto de una importante exploración para el Li por parte de la empresa *Energy Transition Minerals*.

Mina de Sn-Nb-Ta-Li de La Canalita

La mineralización está asociada a diques pegmatíticos que afloran aproximadamente a 1 km del contacto con el batolito de Cadalso-Casillas de Flores. Presentan una morfología tabular a lenticular, con direcciones que varían entre N130°E y N145°E y buzamientos subverticales. Se observan también venas de cuarzo de dirección N90°E, que brechifican e incorporan parte del encajante metamórfico cloritizado (SIEMCALSA, 1997).

Las pegmatitas, de tipo LCT, encajan en el CEG y son ricas en Li y en elementos raros. La mineralización metálica está constituida fundamentalmente por casiterita y MGC, junto a tapiolita y microlita como minerales accesorios, diseminados en prácticamente todas las zonas diferenciadas de las pegmatitas. Los minerales ricos en litio corresponden a mica de Li: moscovita litinífera/lepidolita y, de forma accesorio, amblygonita-montebrazita (Llorens y Moro, 2010a).

7.1.7-ÁREA DEL GRANITO DE LA ALBERCA

Se encuentra al SO de Salamanca, entre los municipios de El Cabaco y Miranda del Castañar, en las proximidades de la Peña de Francia, en las hojas 527 y 552 del MTN de E. 1:50.000 (SIEMCALSA, 1997). Los depósitos más destacables se encuentran al NO del área, en El Cabaco.

Depósitos de W (Sn) ±Au de El Cabaco

La mineralización se dispone en venas de cuarzo con morfología de tipo stockworks, encajadas en las rocas metamórficas de la Fm. Aldeatejda y en los granitos adyacentes, y están acompañadas de una intensa alteración hidrotermal en las rocas circundantes (SIEMCALSA, 1997). Esta mineralización se encuentra diseminada en el interior y sobre todo en los bordes de las venas de cuarzo. Está compuesta por una asociación de minerales que incluyen wolframita (ferberita), scheelita, pirita y arsenopirita. En menor proporción, presenta pirrotina, calcopirita, esfalerita, oro y bismuto nativos, electrum, bismutinita y estannina (González et al., 2000).

Depósitos de W-Sn ±Au de Miranda del Castañar-Mina Isabelita

La mineralización se dispone en dos familias de filones de cuarzo, encajados en el CEG, y está formada por casiterita en una y por wolframita en la otra (SIEMCALSA, 1997).

7.1.8-ÁREA DE ALDEHUELA DE LA BÓVEDA-GARCIRREY

Se encuentra en la zona central de la provincia de Salamanca, entre los municipios de Aldehuela de la Bóveda y Garcirrey, en la hoja 502 del MTN, E. 1:50.000. En esta zona existen mineralizaciones pegmatíticas de Li, con proporciones variables de Sn, Nb y Ta, las cuales han sido explotadas en mina Julita para la obtención de feldespatos, obteniéndose como subproducto columbotantalita (Martín Izard et al., 1992, Roda et al., 2004).

Mineralización de Li±Sn-Nb-Ta de Mina Julita

Esta mina se localiza en un campo filoniano de pegmatitas asociadas a un leucogranito de dos micas y un gabro biotítico con hornblenda. Se pueden diferenciar dos tipos:

- 1) Diques de pegmatitas blancas sodalíticas, que aparecen sobre asociadas a las rocas graníticas, y están constituidas por cuarzo, microclina, plagioclasa y moscovita como minerales esenciales y turmalina como accesorio.
- 2) Diques de pegmatitas subparalelos a la dirección E-W, ligados a la intrusión del gabro. Contienen feldespatos potásicos y cuarzo, así como turmalina y moscovita como minerales accesorios.

La mineralización de Li está constituida principalmente por fosfatos de la serie litiofilita-trifilita, parcialmente alterados a sicklerita y ferrosicklerita (Martín Izard et al., 1992, Roda et al., 2004, Barrios, 2021). Respecto a la mineralización de Sn-Nb y Ta, está representada por la casiterita y la ferrocolumbita, siendo la pirita el sulfuro que las acompaña. En esta mina también son citados algunos indicios de uraninita, corindón, ilmenita, zircón y carbonatos de Fe-Mn (Roda et al., 2004).

7.1.9-ÁREA DE SOBRADILLO-AHIGAL DE LOS ACEITEROS

Se trata de una pequeña zona localizada al oeste de la provincia de Salamanca, en el noroeste del granito de Villar del Ciervo-Bañobárez, dentro de los términos municipales de Ahigal de los Aceiteros y Sobradillo (Figs. 7 y 8).

Mineralización de Pb-Indicios Pocilgas, Ahigal y Los Picones

Se trata de mineralizaciones de Pb que encajan en migmatitas y cuerpos pegmatíticos, en el contacto del granito de La Redonda y las cuarcitas del Ordovícico y en la Fm. Monterrubio, respectivamente. La mineralización está asociada a brechas y venas de cuarzo con direcciones: N20°E, N75°E y N140°E. Está constituida por galena, arsenopirita, pirita, calcopirita, y esfalerita, acompañadas por

limonita, anglesita, escorodita y covellina como minerales de alteración supergénica, presentando en la zona de Ahigal minerales de uranio (García Luis et al., 1995).

7.2-RECURSOS ENERGÉTICOS: URANIO

Se han realizado numerosos estudios sobre los yacimientos españoles de uranio en la provincia de Salamanca, entre los que cabe citar los de Arribas (1970, 1985, 1992) y Martín Izard et al. (2002). Arribas (1992) diferencia tres tipos de mineralizaciones en función de las rocas encajantes (ígneas, metamórficas y sedimentarias) y dentro cada tipo la subdivide en singenéticas y epigenéticas.

En Castilla y León, todas las mineralizaciones de U encajadas en granitos son epigenéticas, de tipo filoniano. Están poco representadas en la provincia de Salamanca, con algunos indicios en la zona de estudio, entre los que cabe citar los de Peñaparda y el granito de Villar de Ciervo-Bañobárez, y los encajados en el granito de Lumbrales, formados por pechblenda y sulfuros (esfalerita, galena, pirita y calcopirita), los asociados a la episienita uranífera de Sobradillo y los de Mina M^a Teresa en Villar de Peralonso, que encajan en granitos del Domo del Tormes, con coffinita como mineral de U primario.

Las mineralizaciones de U que encajan en rocas metamórficas, son también epigenéticas. Encajan en los materiales del Complejo Esquisto-Grauváquico o el Paleozoico inferior y son las denominadas de tipo Ibérico. Están muy bien representadas en la provincia de Salamanca, en las Áreas de Ciudad Rodrigo y Villavieja de Yeltes-Retortillo.

7.2.1-ÁREA DE CIUDAD RODRIGO

Aquí se encuentran algunos de los yacimientos más importantes de España, entre los que destaca mina Fé (Figs. 7 y 8).

Yacimiento de U de mina Fé

Está situada al NO de Ciudad Rodrigo. Geológicamente, se localiza entre el flanco inverso del anticlinal del Águeda, adyacente al sinclinal de Villar de la Yegua-Saelices el Chico.

La mineralización se dispone en filoncillos irregulares, encajados en zonas de brecha y fracturas dentro del CEG y en el Paleozoico (Arribas, 1992, Both y Arribas, 1993, Martín Izard et al., 2002). La mineralización primaria de uranio está constituida por pechblenda y coffinita, acompañadas de sulfuros, pirita y marcasita, y trazas de esfalerita, galena y calcopirita, presentando gummitas, uranotilo, autunita y torbernita como secundarios. La ganga corresponde a carbonatos (calcita, dolomita y ankerita) y adularia.

7.2.2-ÁREA DE VILLAVIEJA DE YELTES-RETORTILLO

En esta zona se encuentran los depósitos de U de Retortillo-Santidad, Alameda y Zona 7, explorados actualmente por la empresa Berkeley.

El yacimiento de uranio de Retortillo-Santidad encaja en pizarras grises/negras de edad Ordovícica, que ocupan el núcleo de un sinforme de dirección NE-SE, por encima de la Fm. “Cuarcita Armoricana”. En esta zona la distribución espacial de la mineralización de uranio muestra una zona fuertemente mineralizada, compuesta por venas/brechas de pechblenda y coffinita que atraviesan la foliación/bandeamiento de las pizarras encajantes, parcialmente turmalinizadas. Los sulfuros que acompañan a la mineralización corresponden principalmente a pirita y marcasita, de tamaño muy pequeño, accesorias (Huertas y Butcher, 2015).

8. GEOQUÍMICA DE LA REGIÓN

8.1-FUNDAMENTO TEÓRICO

La exploración de yacimientos minerales requiere del uso de la prospección geoquímica, la cual implica medir con precisión y de manera sistemática la composición química de los materiales, y establecer un valor de umbral para distinguir entre la línea base y las anomalías geoquímicas (Fig. 9).

La línea base se refiere a la concentración media de un elemento en un tipo específico de roca, y se obtiene a partir de los resultados de análisis químicos en muestras de dicha roca. El objetivo de la exploración geoquímica es detectar valores de concentración más altos que los de la línea base, lo que permitiría localizar enriquecimientos en los elementos que indican la presencia de cuerpos mineralizados. Estos valores más altos son conocidos como anomalías geoquímicas, y se definen a través de análisis estadísticos detallados que establecen los umbrales que separan las anomalías de la línea base.

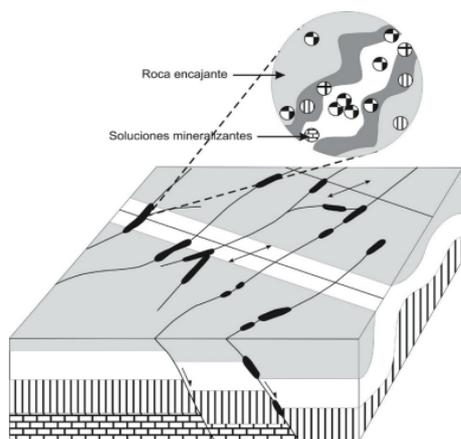


Fig. 9- Concepto de línea base y anomalía geoquímica (modificado de Peters, 2001).

Desde una perspectiva geológica, se considera que existe una anomalía geoquímica cuando una fuente externa agrega algún componente a las rocas. Los valores contrastantes de la concentración original de un elemento y los producidos por el suceso geológico en la litología pueden reflejarse en distribuciones estadísticas de tipo multimodal para el elemento en cuestión, y esto dependerá del proceso geológico y sus características específicas.

Establecer el valor de umbral es uno de los principales desafíos que se presenta en la exploración de yacimientos minerales, ya que es esencial para distinguir entre la línea base y las anomalías, y así poder detectar mineralizaciones. Para determinar este valor, se requiere obtener información sobre la alteración de las variables geoquímicas de interés y realizar los análisis correspondientes de los resultados.

Los datos se obtienen a partir de muestras geoquímicas de sedimentos, suelos o rocas. En este proyecto, las muestras provienen de suelos y sedimentos de ríos y arroyos (IGME, 2012), siendo estas últimas más precisas debido a su menor flujo de agua, lo que evita que las anomalías se enmascaren.

Por lo general, en grandes áreas regionales, se obtiene una muestra cada 100 km². Sin embargo, en este proyecto, la densidad de muestreo es mayor. Para garantizar la precisión de los datos y evitar la contaminación, las muestras se toman habitualmente a una profundidad de entre 10 y 15 cm

8.2-TRATAMIENTO APLICADO A LOS RESULTADOS ANALÍTICOS

En este estudio, se analizaron los resultados obtenidos para toda la región situada al suroeste de Salamanca, así como para cada una de las tres redes de drenaje establecidas de forma individual en este estudio.

Para llevar a cabo este análisis, se aplicó el método de Lepeltier (1969), el cual consiste en comprobar si los valores de la variable muestreada siguen una distribución Normal o Lognormal. Para ello, se utilizó la transformación logarítmica de los valores, lo que permitió aplicar las propiedades de la distribución Lognormal. Se realizaron contrastes de hipótesis (Kolmogorov-Smirnov) para

determinar si las variables tenían una distribución Normal o Lognormal a nivel comarcal y por redes, con un nivel de significación del 1%.

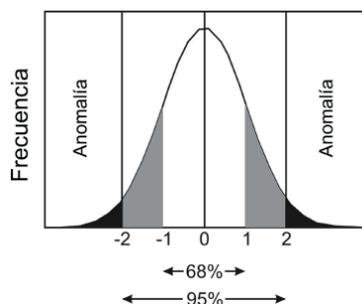
Los resultados obtenidos indicaron que la distribución de los valores de las variables no seguía una distribución Normal debido a la presencia de datos atípicos, asimetrías y a la concentración en pocos valores. Sin embargo, al analizarlos por redes de drenaje, se encontraron variables cuyos datos seguían una distribución Lognormal.

Los resultados de los análisis estadísticos realizados se encuentran en el anexo-A.

8.3-CÁLCULO DE ANOMALÍAS ELEMENTALES

El propósito de analizar las muestras obtenidas en la exploración geoquímica es encontrar y definir anomalías que puedan revelar diferentes procesos geológicos que propicien la concentración de ciertos elementos en las mineralizaciones (Fig. 10).

El criterio de Lepeltier (1969) se emplea para identificar las anomalías, donde se establecen los límites basados en el valor promedio (m) y la desviación estándar (s) de la variable de interés. Los valores de los límites que señalan las anomalías son "m±s" (anomalía posible), "m±2s" (anomalía probable) y "m±3s" (anomalía cierta).



Dentro del intervalo (m-s, m+s) se encontrarían el 68% de los datos, en el rango (m-2s, m+2s) el 95,44% y en el intervalo (m-3s, m+3s) el 99,74% de los datos (Fig. 10).

Fig. 10- Criterio estadístico para la definición de anomalía.

Elemento	m	s	[m-s	m+s]	[m-2s	m+2s]	[m-3s	m+3s]
Ag	0,11	0,10	0,00	0,21	-0,10	0,32	-0,20	0,42
Be	4,65	3,34	1,31	7,99	-2,03	11,32	-5,36	14,66
Bi	0,78	1,05	-0,27	1,82	-1,32	2,87	-2,37	3,92
Ca	3617,76	4885,35	-1267,60	8503,11	-6152,95	13388,46	-11038,30	18273,81
Cd	0,16	0,39	-0,23	0,54	-0,62	0,93	-1,01	1,32
Cs	12,29	8,62	3,67	20,91	-4,95	29,53	-13,57	38,15
Cu	17,32	11,99	5,33	29,31	-6,65	41,29	-18,64	53,28
Fe	25985,51	11724,14	14261,37	37709,65	2537,24	49433,78	-9186,90	61157,92
Li	74,63	42,27	32,35	116,90	-9,92	159,18	-52,19	201,45
Mn	758,13	614,11	144,02	1372,24	-470,09	1986,36	-1084,21	2600,47
Mo	1,11	0,33	0,78	1,44	0,45	1,76	0,12	2,09
Nb	5,07	7,43	-2,36	12,50	-9,79	19,93	-17,22	27,36
P	712,14	375,59	336,55	1087,74	-39,04	1463,33	-414,64	1838,93
Pb	32,30	8,75	23,55	41,05	14,80	49,80	6,04	58,56
Rb	188,54	91,06	97,48	279,59	6,42	370,65	-84,63	461,71
S	281,39	311,57	-30,18	592,97	-341,76	904,54	-653,33	1216,12
Sb	1,51	1,77	-0,26	3,29	-2,03	5,06	-3,80	6,83
Sn	5,46	6,72	-1,26	12,18	-7,98	18,90	-14,70	25,61
Ta	0,54	1,01	-0,47	1,55	-1,47	2,55	-2,48	3,56
Th	23,48	17,26	6,23	40,74	-11,03	58,00	-28,29	75,25
Ti	3294,03	1536,79	1757,24	4830,83	220,45	6367,62	-1316,34	7904,41
V	49,46	29,15	20,31	78,61	-8,84	107,76	-37,99	136,91
W	4,39	9,94	-5,55	14,33	-15,49	24,27	-25,43	34,21
Y	22,09	9,14	12,95	31,23	3,80	40,38	-5,34	49,52
Zn	82,25	40,75	41,49	123,00	0,74	163,75	-40,01	204,50
Zr	105,09	92,74	12,36	197,83	-80,38	290,56	-173,12	383,30

Tabla 1. Intervalos de carácter general

Se han identificado como anomalías más significativas aquellas que están fuera de los rangos (m-2s, m+2s) (puntos azules) y (m-3s, m+3s) (puntos rojos) (Fig. 11, Tabla 2).

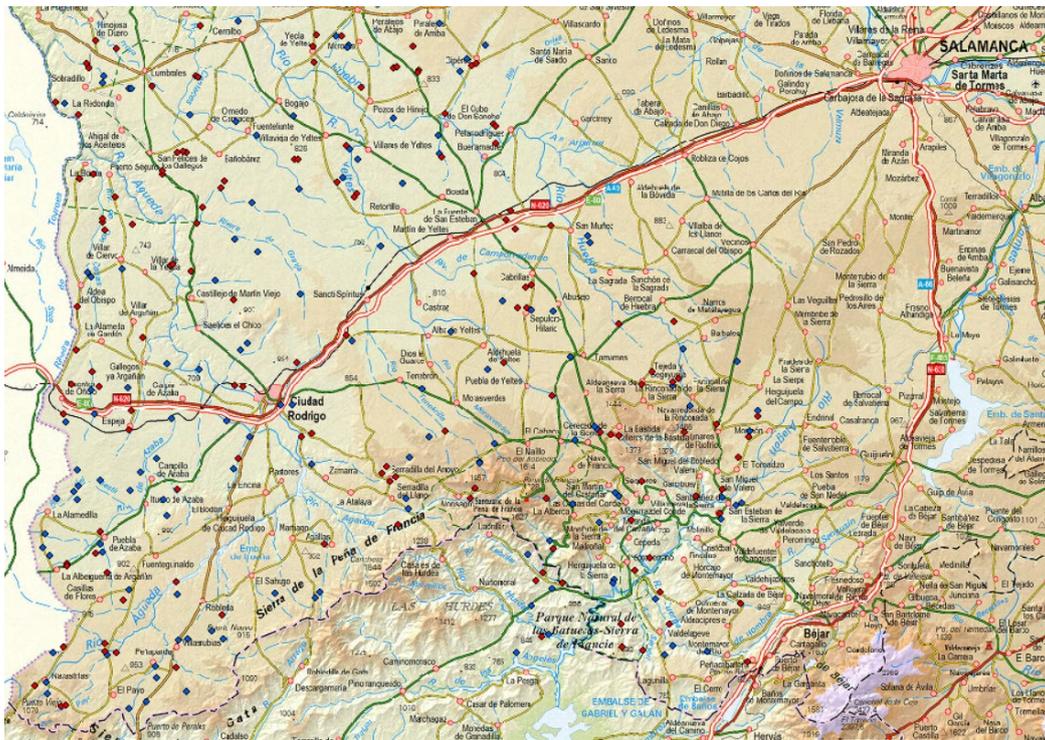


Fig. 11- Anomalías más significativas, representadas en mapa topográfico con ArcGIS.

En la tabla 2 se muestran los códigos que identifican cada una de las anomalías encontradas, y entre paréntesis el valor de la misma.

Ag	5194550T6(0,33); 51911476C24(0,34); 5191476S2(0,36); 5194500T14(0,41); 5194525T15(1,32); 5194527T15(0,86); 5191552S26(0,7); 51911525C2(0,54); 5191476S9(0,52); 51911573C9(0,51); 5191525S26(0,5); 5191525S27(0,5); 5191525S28(0,5); 5191526S26(0,5); 5191526S27(0,5); 5191526S28(0,5); 5191526S29(0,5); 5191526S30(0,5); 5191527S26(0,5); 5191527S27(0,5); 5191527S28(0,5); 5191527S29(0,5); 5191550S26(0,5); 5191550S27(0,5); 5191550S28(0,5); 5191550S29(0,5); 5191551S26(0,5); 5191551S27(0,5)
Be	51911476C20(14,6); 51911500C8(14,5); 5191476S18(14,3); 5194476T3(14); 5194500T6(14); 51911476C2(13,9); 5191476S2(13,9); 5191475S16(13,7); 5191500S23(13,7); 51911550C15(13,3); 51911476C19(13,2); 51911501C1(13); 5191476S26(12,9); 51911525C7(12,9); 51911500C6(12,6); 5191552S15(12,4); 5191500S4(12,3); 5194500T8(12,1); 5194475T7(12); 5194476T20(12); 5194476T5(12); 5194525T7(12); 51911475C5(11,9); 5191476S15(11,9); 5194476T19(11,9); 5191500S10(11,6); 5194500T2(26,9); 51911500C4(24,5); 5194500T4(23,2); 5191476S19(18,1); 5191476S14(17,1); 5194476T2(17); 51911476C13(16,9); 51911501C3(16,9); 5194500T2(16); 51911500C22(15,7); 5194501T3(15,6); 51911500C2(15,4)
Bi	51911500C6(3,7); 51911476C7(3,6); 51911500C8(3,4); 51911475C2(3,2); 5194476T5(3,2); 5194476T7(3); 5194500T6(3); 51911475C5(2,9) 51911525C7(18,9); 5194525T7(9,3); 51911500C4(9,1); 51911476C10(4,8); 5194500T4(4,8); 5194476T14(4,4); 5191476S14(4,3)
Ca	51911500C11(17000); 5194500T11(16100); 5191526S7(15900); 5191552S24(15900); 5194525T8(15700); 51911525C8(14000); 5191502S10(13400) 51911501C13(83500); 5194501T13(47800); 5191502S8(28800); 5191475S15(28600); 5191501S7(28100); 5191501S6(25900); 5191525S12(21900); 5191552S26(19000); 5194527T25(18700)
Cd	5191527S15(1,3); 5191527S4(1,3); 5194527T15(1,2) 5194476T10(10)
Cs	51911476C19(38,1); 51911552C12(34,9); 51911475C5(34,4); 51911500C2(34,3); 51911527C21(34,3); 51911500C8(34); 5194500T8(33,6); 51911476C13(32,3); 51911573C4(31,6); 5194552T12(31,6); 5194552T21(30) 51911476C10(107); 5194476T10(84,5); 5191476S19(49,6); 51911476C11(46,1); 5194573T8(44,2); 51911573C8(43,5); 5194476T11(41,2); 5191500S23(41); 5191476S18(40,3); 5194476T19(40)
Cu	51911475C18(49,1); 51911476C8(48,8); 5191500S11(48,7); 5191552S22(48,5); 51911475C19(48,2); 5194475T18(48); 51911500C22(47,7); 51911527C17(47,6); 5191527S3(46,7); 5191552S25(46,7); 5194500T15(46,4); 5191476S20(45,4); 5194552T10(45,3); 51911552C19(44,7); 51911552C20(44); 5191527S15(44); 51911526C7(42,6); 51911476C19(42,3); 5194527T6(41,6) 5194552T4(83,9); 5191552S11(77,5); 5194527T20(68,9); 5194500T14(63,8); 5191526S15(60,8); 5194476T21(60,3); 5194527T22(60); 5194527T15(57,3); 5191527S8(55,5)
Fe	5191527S15(56200); 5191552S14(53900); 5191500S13(50300); 51911500C1(49900); 5191527S14(49500) 5191552S22(402000); 5191552S25(89300); 5191526S22(80400); 5191502S20(71900); 5191475S12(66200); 5191527S23(63300); 5194527T15(62000)

Li	5194475T2(199); 5191573S8(198); 5194550T8(197); 51911550C15(194); 51911552C12(193); 5194573T4(193); 5194573T3(192); 5191476S19(184); 5194552T3(184); 51911500C4(183); 51911501C1(181); 51911475C2(179); 51911550C16(177); 5194476T3(176); 51911550C10(174); 5194476T10(173); 5194476T11(171); 51911573C3(171); 5194500T8(170); 51911573C9(169); 51911476C3(168); 51911500C22(167); 5194525T9(165); 5194527T19(165); 5191550S10(164); 5194501T1(163); 5194500T3(161); 5191550S14(160) 5194573T8(301); 51911573C4(248); 5194500T2(237); 5194550T20(230); 51911573C8(226); 51911500C8(221); 51911500C2(214); 51911475C5(210); 51911476C10(210); 51911527C19(209); 5194550T10(206)
Mn	51911527C17(2570); 51911475C19(2500); 5191527S5(2440); 5194475T19(2260); 51911527C9(2200); 5191501S2(2180); 5191527S26(2080); 5194527T6(2080); 5191500S16(2050); 5191501S24(2030); 5194476T13(2020); 5191527S27(1990) 5191502S24(9130); 5191476S20(4090); 51911525C7(3980); 5194525T7(3830); 5191500S7(3660); 5194526T21(3040); 5191502S30(2870); 5191502S14(2860); 5194502T14(2850); 5194527T17(2790); 51911502C14(2760); 5194476T21(2760)
Mo	51911476C20(2); 51911502C10(2); 5191475S17(2); 5191475S8(2); 5191476S21(2); 5191476S3(2); 5191500S17(2); 5194475T7(2); 5194476T10(2); 5194476T5(2); 5194501T11(2); 5194501T22(2); 5194501T4(2); 51911525C13(2); 51911525C23(2); 51911525C7(2); 51911526C18(2); 51911527C18(2); 51911550C2(2); 51911550C3(2); 51911551C15(2); 51911552C4(2); 51911573C3(2); 5191525S26(2); 5191525S27(2); 5191525S28(2); 5191525S26(2); 5191526S21(2); 5191526S26(2); 5191526S27(2); 5191526S28(2); 5191526S29(2); 5191526S30(2); 5191527S16(2); 5191527S21(2); 5191527S24(2); 5191527S26(2); 5191527S27(2); 5191527S28(2); 5191527S29(2); 5191550S26(2); 5191550S27(2); 5191550S28(2); 5191550S29(2); 5191551S26(2); 5191551S27(2); 5191552S1(2); 5191552S10(2); 5191552S2(2); 5191552S21(2); 5191552S22(2); 5191552S26(2); 5191573S10(2); 5194525T5(2); 5194525T7(2); 5194526T21(2); 5194526T24(2); 5194526T25(2); 5194526T3(2); 5194526T5(2); 194527T20(2); 5194527T6(2); 5194550T10(2); 5194551T3(2); 5194552T8(2); 5194573T6(2) 51911500C18(3); 5191500S23(3); 5191552S5(3); 5194552T22(3)
Nb	5194527T16(27); 51911573C1(26,6); 5191550S17(26,3); 5194476T6(26); 5194476T7(25); 5191527S25(23,9); 51911552C23(23,8); 5191550S1(23,5); 51911573C6(23,1); 51911476C10(22,8); 5194552T23(22,6); 5194527T24(22,4); 5194476T17(22); 51911552C5(21,5); 5191527S3(21,5); 5191500S4(21,3); 5191476S24(21,2); 5194476T20(21); 5191527S11(21); 5191475S23(20,9); 5191501S2(20,9); 5191552S5(20,9); 5194475T10(20,8); 5194500T1(20,7); 5191525S16(20,6); 5194573T3(20) 5194501T3(40,2); 5194500T3(36); 5194500T8(34,2); 5191525S13(34,1); 51911500C2(32,5); 5194573T4(32); 5191526S3(31,3); 51911475C10(30,5); 51911500C6(29,7); 51911550C21(29,7); 51911552C15(29,7); 51911475C12(29,2); 5194476T1(29); 5194476T14(29); 5194500T6(29); 51911573C8(28,9); 51911476C1(28,2); 51911552C12(28,1); 51911573C5(27,6)
P	5191475S16(1800); 5191476S2(1780); 5191552S15(1750); 5194573T4(1750); 51911476C10(1730); 5191500S7(1730); 5194475T15(1710); 5191476S1(1680); 5194573T13(1660); 5194525T1(1640); 5194525T9(1620); 5191552S11(1610); 5194501T3(1580); 5194475T17(1510); 51911475C5(1500); 5194476T7(1500); 5194500T1(1500); 5191550S8(1500); 5194475T6(1480); 51911573C4(1480); 5191550S1(1480); 51911573C1(1470) 5191475S7(2880); 5191476S9(2630); 5194552T23(2570); 5191475S15(2060); 5191550S14(2040); 51911552C23(2000); 5191552S5(1940); 5194527T19(1890); 51911527C19(1880)
Pb	5191527S8(55,7); 5194573T13(55,6); 5194525T25(52,8); 5191527S27(51); 5191552S21(50,9); 51911573C6(49,8); 5191526S12(13,3); 5191552S1(12,7); 5191526S19(11,3); 5191526S24(11) 5191552S6(120); 5191527S4(90,9); 5191475S7(73,6); 51911476C24(70,3); 5191476S1(64,3); 5194476T24(58,9); 5191501S28(58,7)
Rb	51911525C7(456); 5191476S19(454); 5191525S14(453); 519450T1(446); 5191550S10(442); 5191550S14(440); 5194475T17(436); 5194573T6(431); 51911476C19(430); 5191550S2(428); 5194525T7(428); 5194500T2(425); 51911475C17(423); 51911476C25(414); 5191550S9(412); 519452T15(411); 5191525S20(409); 5194475T2(408); 5194476T6(407); 51911550C11(406); 51911475C7(399); 5191525S9(394); 51911550C16(387); 5191525S22(384); 519450T20(382); 51911475C5(381); 51911550C10(377); 5191525S21(372); 5191525S26(372); 51911476C20(371); 51911550C3(370); 5194550T3(370) 5194476T14(509); 51911550C21(502); 51911475C2(476); 5194573T8(464)
S	5191501S7(1200); 5191525S19(1100); 5191551S3(1100); 5191476S9(1000); 5191525S26(1000); 5191525S27(1000); 5191525S28(1000); 5191526S26(1000); 5191526S27(1000); 5191526S28(1000); 5191526S29(1000); 5191526S30(1000); 5191527S26(1000); 5191527S27(1000); 5191527S28(1000); 5191527S29(1000); 5191550S26(1000); 5191550S27(1000); 5191550S28(1000); 5191550S29(1000); 5191551S26(1000); 5191551S27(1000); 5191552S26(1000)
Sb	5191552S22(6,4); 5191552S19(5,7); 51911502C20(5,6); 5194552T14(5,5); 5191526S29(5,3); 5194551T14(5,3); 51911502C21(5,1) 5191526S25(24,6); 5194526T25(18,2); 5194527T15(12,1); 5191527S29(10,7); 5191527S15(10,5); 5191552S14(10,4); 5194552T22(10,1); 5194526T21(9); 5191552S25(8,4); 5191552S27(7,8); 5194552T7(7,2)
Sn	51911552C15(25); 5194476T5(24); 5194476T6(24); 5191476S14(23); 5194500T7(23); 51911525C7(23); 51911573C6(23); 51911500C8(22); 5191476S18(22); 5194476T19(22); 5194500T4(22); 5194525T7(22); 5194573T3(22); 51911476C25(21); 51911552C12(21); 5194552T15(21); 51911476C7(20); 5191573S3(20); 5194573T6(20); 51911475C10(19); 5194476T13(19); 5194552T4(19) 5194476T14(46); 5194573T8(45); 5194500T6(36); 5194500T3(35); 51911476C10(34); 5194501T25(34); 5194476T20(33); 51911573C8(33); 51911476C19(29); 51911476C2(29); 5194500T8(29); 5194500T2(28); 5194573T4(28); 51911500C2(27); 51911500C4(27); 51911500C6(27); 5194476T25(27); 5194501T3(26)
Ta	5191550S26(3,4); 5194500T3(3); 5191527S27(3); 51911552C15(2,9); 51911500C2(2,8); 51911573C6(2,8); 51911476C1(2,7); 51911475C10(2,6); 5191475S23(2,6); 5194476T20(2,6); 5191526S30(2,6) 5191476S26(10); 5191573S3(7,1); 5191525S26(6,5); 5194476T14(6,4); 5194500T8(6,3); 5191525S13(6,2); 5191526S3(6,1); 5191500S4(6); 5191500S22(5,8); 5194500T6(4,8); 51911573C8(4,8); 5191526S26(4,8); 5194501T3(4,4); 51911500C6(4,1); 5191552S5(4); 5194573T4(3,8)
Th	51911475C10(72,3); 5194475T22(72,3); 51911500C8(69,5); 5194475T8(66); 5191573S6(65,5); 51911501C1(63,4); 51911500C5(62,2); 5194500T2(61,4); 5194500T3(61); 5194500T5(60,9); 5194475T10(60,4); 5194500T4(59); 5191501C3(58,9) 5194500T1(144); 51911475C7(138); 5194525T9(131); 5191500S3(110); 5191475S16(104); 5191552S26(101); 5194475T9(91); 5194475T2(89,8); 5191476S11(87,9); 51911500C1(86,7); 5191500S1(80,5); 5191573S1(80,3); 51911475C2(79,6); 51911475C9(77,7); 5194525T1(76,9); 5194550T15(76,8); 5194475T7(76,4); 51911475C22(76,2); 5191500S7(75); 5194500T8(74); 5194475T23(73,8); 5191476S13(72,5)
Ti	5194500T1(7900); 5191526S26(7800); 5191526S3(7400); 5191525S16(7300); 5194527T11(7300); 51911573C5(6900); 5194525T1(6900); 5194552T23(6900); 51911501C25(6700); 5194501T3(6700); 51911573C2(6700); 5191525S18(6700); 5191552S11(6700); 5194527T16(6600); 5194527T24(6500); 51911500C2(6400); 5191527S26(6400) 5191527S3(11300); 5191550S17(10600); 5191527S11(9000)
V	51911552C20(136); 5191550S6(135); 51911573C2(131); 5194552T13(131); 51911550C23(130); 5191552S25(129); 5194550T17(127); 5194550T6(126); 5194525T8(124); 51911475C25(122); 5191502S20(122); 5191552S11(122); 5191550S17(120); 5194527T2(120); 5191475S12(119); 5194476T17(119); 51911551C15(119); 5191527S1(119); 51911475C18(117); 51911475C12(116); 5194525T4(116); 5194527T4(116); 5194552T20(116); 51911476C23(114); 5194552T7(114); 5194527T6(112); 5194550T22(112); 5191527S16(111); 5194527T16(110); 51911525C8(109); 5194552T2(109); 5194552T8(108) 5194527T20(230); 51911552C19(170); 5194500T15(152); 5191552S22(151); 5194527T15(141); 5194552T19(138)
W	5191501S3(32); 5194573T9(31); 5191573S2(30); 5191500S1(29); 5191475S23(27); 5191476S29(25); 5191527S21(25); 5194573T8(25) 5191500S14(197); 5191573S3(81); 5191573S8(72); 5191500S7(47); 5191527S18(40); 5191500S22(36); 5191500S3(36); 5194500T3(36)

Y	5194501T3(48,1); 5194525T9(47,6); 5191476S11(44,8); 5191573S1(44,1); 5191500S1(43,8); 5194526T20(43,5); 51911500C5(43,3); 5194500T5(42,8); 5191525S10(42,5); 5194475T12(42,4); 5191501S1(41,6); 5191552S24(41,3); 5194552T17(41,3); 51911500C6(41); 5194476T5(40,4); 51911573C2(1,7) 5194500T1(80,8); 51911500C1(80); 5194500T2(69,2); 51911501C1(69); 5191552S26(67); 5191500S3(64,8); 5194500T7(60,7); 51911501C3(57,6); 5194501T1(56); 5194500T6(54,9)
Zn	5191550S22(199); 5191527S15(192); 5191527S3(186); 5191550S24(186); 5191526S21(184); 5191527S29(183); 51911475C2(180); 51911500C11(177); 5191502S24(175); 51911527C17(175); 5191552S11(174); 5194527T17(171); 5194475T2(170); 5194500T11(170); 5191527S5(170); 5191527S26(169); 5191527S23(166); 5191475S7(164) 5191527S4(443); 51911476C11(283); 5191501S3(275); 5191527S27(270); 5194476T11(223); 5194527T15(213)
Zr	51911501C1(377); 5191500S1(375); 51911527C25(361); 5191551S15(356); 51911552C5(333); 5194526T24(325); 51911552C12(323); 5194526T23(321); 51911500C2(318); 5194527T24(318); 5191527S25(313); 5191552S5(306); 5191525S13(304); 5194500T4(303); 5194500T7(297) 5194500T1(912); 5194500T3(668); 51911500C1(623); 5194501T3(501); 5194552T17(500); 5194500T6(467); 5191552S26(445); 5191573S1(444); 51911501C3(439); 5191475S23(433); 51911475C22(402); 51911552C15(402); 5194500T2(394); 5191500S3(390)

Tabla 2-Códigos de identificación para cada una de las anomalías presentes en los intervalos $m \pm 2s$ (en negro) y $m \pm 3s$ (en rojo).

8.4-TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

En primer lugar, se procedió al análisis estadístico de todas las muestras del área determinada al SO de Salamanca, seguido del análisis individual de cada una de las tres redes de drenaje identificadas según su ubicación. El objetivo principal fue investigar si existía una tendencia generalizada en la zona y luego comparar con las diferentes redes de drenaje, así como establecer una comparación entre las tres redes.

Se llevaron a cabo análisis univariantes, bivariantes y multivariantes para los elementos Ag, Be, Bi, Ca, Cd, Cs, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Nb, P, Pb, Rb, S, Sb, Sn, Ta, Th, Ti, V, W, Y, Zn y Zr.

8.4.1-ANÁLISIS UNIVARIANTE

Se realizó un análisis estadístico individual para cada elemento calculando la media, la distribución de las frecuencias y la dispersión de los datos. Se compararon las concentraciones medias de la Corteza Continental Superior (CCS.) con los resultados obtenidos para la zona de estudio y para las tres redes de drenaje (R.D.1, R.D.2 y R.D.3) con una confianza del 95%.

En primer lugar, se realizó una comparativa de los valores medios de los elementos entre las distintas redes, ver los resultados en el anexo B. Encontrando que existen diferencias significativas entre los valores medios de P entre la red-1 y la red-2; y de Zr entre la red-1 y red-2, y la red-2 y la red-3.

Además, se encontraron diferencias significativas entre los valores medios de Ag entre la red 1 y la 3, y la red 2 con la 3; Fe entre la red 1 y 2 y la red 2 y 3; Li entre la red 1 y la 3; Mn diferencia entre todas las redes; Mo entre la red 1 y 2; Rb diferencia entre la red 1 y 3 y entre 2 y 3; V entre la red 1 y 2 y entre la 2 y la 3; y para W entre la red 2 y la 3.

También se realizaron contrastes de hipótesis para comparar los valores medios ($H_0: \mu = \mu_0$) con los de CCS, con un nivel de significación del 5%. Las tablas obtenidas del SPSS proporcionan los estadísticos básicos y los contrastes, tal como se puede observar en el anexo C. Los resultados se reflejan en la Tabla 3, que muestra los elementos y las medias de sus concentraciones en la Corteza Continental Superior (CCS), en el SO de Salamanca y en cada una de las tres redes de drenaje.

Se determinó que la concentración media de los elementos Ag, Be, Bi, Cs, Cu, Li, Pb, Rb, Sb, Sn, Th, W, Y y Zn es superior a la de la CCS, tanto a nivel global como en las tres redes de drenaje diferenciadas, mientras que las concentraciones medias del Ca, Mo, Nb, S, Ta, V y Zr son inferiores. En los siguientes elementos, la concentración media tiene comportamientos diferentes, con respecto CCS, a nivel global y en las distintas redes: 1) para Cd, es inferior a nivel global y en la Red-1, y similar en las redes 2 y 3, 2) para Fe, es superior respecto al nivel global y en las redes 2 y 3, pero inferior que en la Red-1, 3) para Mn es similar al nivel global y en las tres redes, 4) para P es inferior respecto al nivel global y las redes 2 y 3, y similar al de la Red-3 y 5) para Ti, es inferior en todos los casos, salvo en la Red-1, dónde es similar.

MAYOR **SIMILAR** **MENOR**

ELEMENTO	CCS (WEDEPOHL, 1995)	GLOBAL	RED-1	RED-2	RED-3
Ag	0,055 ppm	0,11	0,09	0,09	0,12
Be	3,1ppm	4,65	4,84	4,16	4,55
Bi	0.123 ppm	0,78	0,72	0,64	0,87
Ca	2,945%= 29450ppm	3617,76	3747,54	4177,63	3309,19
Cd	0,102	0,16	0,18	0,13	0,14
Cs	5,8ppm	12,29	11,61	12,53	13,06
Cu	14,3 ppm	17,32	16,79	21,62	16,81
Fe	3,089%= 30890ppm	25985,51	25597,39	31311,84	25028,27
Li	22ppm	74,63	67,55	80,47	81,69
Mn	527 ppm	758,13	874,25	542,66	674,44
Mo	1,4 ppm	1,11	1,07	1,21	1,12
Nb	26 ppm	5,07	4,58	6,48	5,29
P	665ppm	712,14	670,35	802,37	738,87
Pb	17 ppm	32,30	31,91	32,17	32,82
Rb	110ppm	188,54	177,85	171,62	206,11
S	0,0953%= 953ppm	281,39	259,42	247,37	317,32
Sb	0,31 ppm	1,51	1,41	2,04	1,51
Sn	2,5 ppm	5,46	4,97	5,99	5,91
Ta	1,5 ppm	0,54	0,47	0,56	0,62
Th	10,3ppm	23,48	23,44	23,12	23,63
Ti	3117ppm	3294,03	3227,25	3501,32	3319,79
V	53 ppm	49,46	47,59	63,46	47,99
W	1,4 ppm	4,39	3,73	2,74	5,63
Y	20,7ppm	22,09	21,69	21,47	22,74
Zn	52 ppm	82,25	82,11	80,03	83,01
Zr	237ppm	105,09	92,09	152,19	108,31

Tabla 3- Elementos y las medias de sus concentraciones en la Corteza Continental Superior (CCS), en el SO de Salamanca y en cada una de las tres redes de drenaje.

8.4.2-ANÁLISIS BIVARIANTE

El objetivo de realizar un análisis estadístico bivalente es estudiar las relaciones entre parejas de variables, para lo cual se calcula el coeficiente de correlación, siendo los más empleados el Pearson y Spearman. Ambos permiten determinar la relación lineal entre dos variables. Un valor cercano a -1 indica una correlación negativa perfecta, 0 indica ausencia de correlación lineal y 1 indica una correlación positiva perfecta. El coeficiente de Pearson precisa que las variables sigan una distribución Normal, por lo que en este estudio se utilizará el coeficiente de Spearman dadas las características de los datos con los que se trabaja.

A continuación, se muestran las tablas con el coeficiente de correlación de Spearman, obtenidas con el SPSS. La tabla 4 es la realizada con todos los datos de la zona de estudio, y las tablas 5, 6 y 7 con los datos divididos según las tres redes de drenaje diferenciadas.

Las matrices muestran los coeficientes de correlación entre los diferentes elementos, considerándose que los valores comprendidos entre 0,5 y 0,6, son indicativos de una correlación significativa; entre 0,6 y 0,7 media y los superiores a 0,7, alta. Para facilitar su visualización, se han marcado las celdas con fondo verde, amarillo y rojo, respectivamente.

	Ag	Be	Bi	Ca	Cd	Cs	Cu	Fe	Li	Mn	Mo	Nb	P	Pb	Rb	S	Sb	Sn	Ta	Th	Ti	V	W	Y	Zn	Zr
Ag	1	0,033	0,020	0,118	0,342	0,012	0,396	0,323	0,056	0,152	0,149	0,126	0,158	0,116	0,052	0,319	0,216	0,116	0,153	0,126	0,029	0,194	0,122	0,201	0,470	0,027
Be	0,033	1	0,756	0,548	0,167	0,795	0,134	0,045	0,757	0,167	0,019	0,415	0,577	0,359	0,601	0,009	0,523	0,578	0,377	0,574	0,183	0,012	0,332	0,207	0,305	0,384
Bi	0,020	0,756	1	0,414	0,085	0,822	0,223	0,153	0,704	0,098	0,088	0,440	0,588	0,409	0,653	0,092	0,537	0,583	0,355	0,505	0,142	0,081	0,363	0,004	0,169	0,275
Ca	0,118	0,548	0,414	1	0,243	0,432	0,128	0,102	0,364	0,229	0,038	0,213	0,433	0,228	0,283	0,192	0,456	0,274	0,203	0,379	0,107	0,104	0,247	0,217	0,213	0,156
Cd	0,342	0,167	0,085	0,243	1	0,061	0,291	0,275	0,097	0,275	0,050	0,051	0,272	0,205	0,014	0,343	0,083	0,049	0,034	0,027	0,091	0,205	0,193	0,224	0,437	0,096
Cs	0,012	0,795	0,822	0,432	0,061	1	0,215	0,111	0,824	0,023	0,041	0,448	0,610	0,319	0,700	0,079	0,582	0,644	0,385	0,523	0,179	0,010	0,396	0,022	0,195	0,377
Cu	0,396	0,134	0,223	0,128	0,291	0,215	1	0,805	0,018	0,292	0,006	0,118	0,037	0,041	0,293	0,130	0,401	0,085	0,168	0,313	0,045	0,584	0,036	0,284	0,636	0,127
Fe	0,323	0,045	0,153	0,102	0,275	0,111	0,805	1	0,143	0,323	0,045	0,040	0,076	0,027	0,291	0,123	0,363	0,005	0,139	0,178	0,148	0,705	0,035	0,297	0,667	0,265
Li	0,056	0,757	0,704	0,364	0,097	0,824	0,018	0,143	1	0,109	0,031	0,394	0,599	0,272	0,610	0,062	0,388	0,605	0,321	0,454	0,229	0,201	0,271	0,160	0,393	0,458
Mn	0,152	0,167	0,098	0,229	0,275	0,023	0,292	0,323	0,109	1	0,020	0,002	0,172	0,232	0,055	0,135	0,130	0,041	0,004	0,092	0,100	0,182	0,114	0,327	0,394	0,050
Mo	0,149	0,019	0,088	0,038	0,050	0,041	0,006	0,045	0,031	0,020	1	0,012	0,042	0,093	0,024	0,175	0,075	0,004	0,143	0,038	0,002	0,038	0,043	0,043	0,012	0,041
Nb	0,126	0,415	0,440	0,213	0,051	0,448	0,118	0,040	0,394	0,002	0,012	1	0,580	0,160	0,244	0,135	0,309	0,737	0,809	0,243	0,598	0,265	0,143	0,240	0,050	0,562
P	0,158	0,577	0,588	0,433	0,272	0,610	0,037	0,076	0,599	0,172	0,042	0,580	1	0,416	0,452	0,331	0,346	0,610	0,482	0,357	0,457	0,272	0,194	0,077	0,358	0,486
Pb	0,116	0,359	0,409	0,228	0,205	0,319	0,041	0,027	0,272	0,232	0,093	0,160	0,416	1	0,345	0,134	0,144	0,240	0,179	0,254	0,124	0,012	0,136	0,061	0,215	0,098
Rb	0,052	0,601	0,653	0,283	0,014	0,700	0,293	0,291	0,610	0,055	0,024	0,244	0,452	0,345	1	0,120	0,446	0,481	0,247	0,392	0,053	0,181	0,212	0,107	0,079	0,223
S	0,319	0,009	0,092	0,192	0,343	0,079	0,130	0,123	0,062	0,135	0,175	0,135	0,331	0,134	0,120	1	0,146	0,057	0,180	0,098	0,193	0,160	0,092	0,021	0,184	0,079
Sb	0,216	0,523	0,537	0,456	0,083	0,582	0,401	0,363	0,388	0,130	0,075	0,309	0,346	0,144	0,446	0,146	1	0,384	0,265	0,436	0,042	0,242	0,251	0,098	0,074	0,166
Sn	0,116	0,578	0,583	0,274	0,049	0,644	0,085	0,005	0,605	0,041	0,004	0,737	0,610	0,240	0,481	0,057	0,384	1	0,661	0,317	0,482	0,260	0,250	0,127	0,141	0,556
Ta	0,153	0,377	0,355	0,203	0,034	0,385	0,168	0,139	0,321	0,004	0,143	0,809	0,482	0,179	0,247	0,180	0,265	0,661	1	0,208	0,451	0,100	0,137	0,224	0,000	0,435
Th	0,126	0,574	0,505	0,379	0,027	0,523	0,313	0,178	0,454	0,092	0,038	0,243	0,357	0,254	0,392	0,098	0,436	0,317	0,208	1	0,245	0,085	0,131	0,236	0,062	0,343
Ti	0,029	0,183	0,142	0,107	0,091	0,179	0,045	0,148	0,229	0,100	0,002	0,598	0,457	0,124	0,053	0,193	0,042	0,482	0,451	0,245	1	0,619	0,074	0,034	0,143	0,488
V	0,194	0,012	0,081	0,104	0,205	0,010	0,584	0,705	0,201	0,182	0,038	0,265	0,272	0,012	0,181	0,160	0,242	0,260	0,100	0,085	0,619	1	0,028	0,091	0,433	0,433
W	0,122	0,332	0,363	0,247	0,193	0,396	0,036	0,035	0,271	0,114	0,043	0,143	0,194	0,136	0,212	0,092	0,251	0,250	0,137	0,131	0,074	0,028	1	0,099	0,153	0,094
Y	0,201	0,207	0,004	0,217	0,224	0,022	0,284	0,297	0,160	0,327	0,043	0,240	0,077	0,061	0,107	0,021	0,098	0,127	0,224	0,236	0,034	0,091	0,099	1	0,344	0,075
Zn	0,470	0,305	0,169	0,213	0,437	0,195	0,636	0,667	0,393	0,394	0,012	0,050	0,358	0,215	0,079	0,184	0,074	0,141	0,000	0,062	0,143	0,433	0,153	0,344	1	0,294
Zr	0,027	0,384	0,275	0,156	0,096	0,377	0,127	0,265	0,458	0,050	0,041	0,562	0,486	0,098	0,223	0,079	0,166	0,556	0,435	0,343	0,488	0,433	0,094	0,075	0,294	1

Tabla 4-Matriz de coeficientes de correlación del total de las muestras consideradas.

	Ag	Be	Bi	Ca	Cd	Cs	Cu	Fe	Li	Mn	Mo	Nb	P	Pb	Rb	S	Sb	Sn	Ta	Th	Ti	V	W	Y	Zn	Zr
Ag	1	,183	,179	,255	,377	,117	,322	,223	,149	,164	0,100	0,052	,252	,299	0,088	,230	0,095	0,016	-,147	0,008	-,060	,108	-,155	,152	,416	0,057
Be	,183	1	,803	,600	,233	,831	0,016	0,083	,816	,116	0,004	,423	,618	,289	,593	0,021	-,548	,632	,401	,542	,162	0,099	,328	,202	,498	,434
Bi	,179	,803	1	,479	,187	,810	0,078	0,024	,695	0,073	-,115	,425	,603	,269	,639	0,071	-,524	,560	,335	,536	0,097	0,018	,326	0,095	,395	,324
Ca	,255	,600	,479	1	,288	,519	0,038	0,027	,470	,127	0,049	,295	,479	,278	,280	,309	-,418	,400	,274	,345	,125	0,021	,262	0,073	,360	,190
Cd	,377	,233	,187	,288	1	,116	,309	,264	,159	,289	0,091	,108	,301	,328	0,063	,286	0,058	,130	,109	0,018	0,054	,184	,251	,187	,447	0,100
Cs	,117	,831	,810	,519	,116	1	-,111	0,071	,802	0,050	0,059	,417	,578	,160	,733	0,087	-,638	,629	,357	,598	,132	0,058	,374	0,054	,340	,417
Cu	,322	0,016	0,078	0,038	,309	-,111	1	,787	,113	,433	0,015	0,074	0,057	,237	-,126	0,073	,273	0,005	-,116	-,180	0,071	,561	,134	,337	,657	,122
Fe	,223	0,083	0,024	0,027	,264	0,071	,787	1	,184	,477	0,035	0,015	,120	,257	-,172	0,051	,273	0,051	0,083	0,039	,136	,651	,108	,348	,639	,216
Li	,149	,816	,695	,470	,159	,802	,113	,184	1	,149	0,005	,354	,610	,226	,652	0,081	-,462	,603	,321	,545	,168	,216	,234	,213	,532	,439
Mn	,164	,116	0,073	,127	,289	0,050	,433	,477	,149	1	0,019	0,019	,179	,399	0,003	,160	,339	0,060	0,007	0,027	0,103	,279	0,065	,403	,449	0,077
Mo	0,100	0,004	-,115	0,049	0,091	0,059	0,015	0,035	0,005	0,019	1	0,022	0,025	0,047	0,003	0,105	0,085	0,018	0,101	0,008	0,046	0,012	0,058	0,005	0,056	0,055
Nb	0,052	,423	,425	,295	,108	,417	0,074	0,015	,354	0,019	0,022	1	,580	0,074	,168	,215	-,286	,689	,804	,240	,649	,344	,116	-,231	,127	,576
P	,252	,618	,603	,479	,301	,578	0,057	,120	,610	,179	0,025	,580	1	,415	,449	,324	-,306	,643	,499	,398	,422	,336	,121	0,068	,444	,512
Pb	,299	,289	,269	,278	,328	,160	,237	,257	,226	,399	0,047	0,074	415	1	,172	,158	0,048	,160	0,080	,133	,117	,204	0,102	,216	,425	,154
Rb	0,088	,593	,639	,280	0,063	,733	-,126	-,172	,652	0,003	0,003	,168	,449	,172	1	-,198	-,445	,485	,194	,432	0,007	0,093	,143	,173	,275	,293
S	,230	0,021	0,071	,309	,286	0,087	0,073	0,051	0,081	,160	0,105	,215	,324	,158	-,198	1	,122	,114	,199	-,119	,202	,154	0,086	0,101	0,096	0,064
Sb	0,095	-,548	-,524	-,418	0,058	-,638	,273	,273	-,462	,339	0,085	-,286	-,306	0,048	-,445	,122	1	-,374	-,267	-,486	0,055	,133	-,244	0,096	-,109	-,218
Sn	0,016	,632	,560	,400	,130	,629	0,005	0,051	,603	0,060	0,018	,689	,643	,160	,485	,114	-,374	1	,670	,342	,497	,343	,192	0,018	,295	,613
Ta	-,147	,401	,335	,274	,109	,357	-,116	0,083	,321	0,007	0,101	,804	,499	0,080	,194	,199	-,267	,670	1	,207	,517	,214	0,084	-,219	0,095	,504
Th	0,008	,542	,536	,345	0,018	,598	-,180	0,039	,545	0,027	0,008	,240	,398	,133	,432	-,119	-,486	,342	,207	1	,164	0,007	,204	,227	,176	,365
Ti	0,060	,162	0,097	,125	0,054	,132	0,071	,136	,168	0,103	0,046	,649	,422	,117	0,007	0,202	0,055	,497	,517	,164	1	,670	0,058	0,032	0,102	

	Ag	Be	Bi	Ca	Cd	Cs	Cu	Fe	Li	Mn	Mo	Nb	P	Pb	Rb	S	Sb	Sn	Ta	Th	Ti	V	W	Y	Zn	Zr
Ag	1	0,006	0,017	0,004	,298	0,041	,366	,405	0,156	,255	0,183	-,226	0,217	0,077	0,033	,315	,312	-,251	-,281	0,011	0,049	,353	0,067	,241	,523	0,006
Be	0,006	1	,782	,707	0,082	,808	0,225	-,235	,748	,555	0,089	,366	,596	,509	,630	0,009	-,627	,549	,419	,680	0,053	-,298	,242	,474	0,175	,449
Bi	0,017	,782	1	,535	0,062	,851	0,105	-,113	,733	,595	0,166	,376	,666	,603	,597	0,082	-,481	,551	,497	,538	0,106	-,150	,284	,325	,243	,384
Ca	0,004	,707	,535	1	,229	,553	-,429	-,394	,443	,469	0,050	0,202	,647	,416	,458	0,141	-,774	,277	,246	,620	0,025	-,428	,249	,414	0,091	,255
Cd	,298	0,082	0,062	,229	1	0,025	0,006	0,092	0,031	,295	0,002	0,018	,251	0,161	0,069	,455	0,075	0,108	0,069	0,011	0,082	0,042	0,050	0,095	,250	0,065
Cs	0,041	,808	,851	,553	0,025	1	0,193	0,113	,865	,492	0,043	,324	,628	,473	,649	0,028	-,481	,558	,411	,678	0,142	0,093	0,177	,363	0,172	,482
Cu	,366	0,225	0,105	-,429	0,006	0,193	1	,735	0,050	0,013	0,082	0,107	0,032	0,018	-,282	,228	,530	0,047	0,004	-,331	0,189	,629	0,109	0,016	,428	0,036
Fe	,405	-,235	0,113	-,394	0,092	0,113	,735	1	0,028	0,146	0,038	0,083	0,080	0,094	-,255	0,197	,596	0,010	0,059	-,287	,403	,812	0,111	0,008	,675	0,031
Li	0,156	,748	,733	,443	0,031	,865	0,050	0,028	1	,557	0,102	,321	,556	,400	,596	0,052	-,339	,518	,349	,660	,232	0,053	0,126	,405	,279	,439
Mn	,255	,555	,595	,469	,295	,492	0,013	0,146	,557	1	0,088	,238	,557	,408	,469	,253	-,270	,301	0,224	,336	,237	0,006	,238	,328	,581	0,148
Mo	0,183	0,089	0,166	0,050	0,002	0,043	0,082	0,038	0,102	0,088	1	0,035	0,105	,284	0,087	0,124	0,029	0,057	0,110	0,093	0,039	0,026	0,177	0,145	0,027	0,039
Nb	-,226	,366	,376	0,202	0,018	,324	0,107	0,083	,321	,238	0,035	1	,414	0,121	0,075	0,156	-,233	,774	,838	,277	,558	,255	0,179	0,103	0,145	,627
P	0,217	,596	,666	,647	,251	,628	0,032	0,080	,556	,557	0,105	,414	1	,480	,410	,362	-,403	,461	,417	,466	,392	0,129	,270	,323	,445	,387
Pb	0,077	,509	,603	,416	0,161	,473	0,018	0,094	,400	,408	,284	0,121	,480	1	,463	0,163	-,301	,299	0,194	0,217	0,082	0,180	,319	,287	0,140	0,062
Rb	0,033	,630	,597	,458	0,069	,649	-,282	-,255	,596	,469	0,087	0,075	,410	,463	1	0,053	-,527	,363	0,094	,376	0,009	0,222	,326	,434	0,060	,264
S	,315	0,009	0,082	0,141	,455	0,028	,228	0,197	0,052	,253	0,124	0,156	,362	0,163	0,053	1	0,192	0,010	0,090	0,140	,329	,277	0,006	0,154	,264	0,139
Sb	,312	-,627	-,481	-,774	0,075	-,481	,530	,596	-,339	-,270	0,029	-,233	-,403	-,301	-,527	0,192	1	-,336	-,259	-,641	0,053	,545	0,153	-,259	0,189	-,252
Sn	-,251	,549	,551	,277	0,108	,558	0,047	0,010	,518	,301	0,057	,774	,461	,299	,363	0,010	-,336	1	,690	,384	,522	0,145	,343	0,007	0,133	,631
Ta	-,281	,419	,497	,246	0,069	,411	0,004	0,059	,349	0,224	0,110	,838	,417	0,194	0,094	0,090	-,259	,690	1	,320	,337	0,047	,271	0,044	0,070	,583
Th	0,011	,680	,538	,620	0,011	,678	-,331	-,287	,660	,336	0,093	,277	,466	0,217	,376	0,140	-,641	,384	,320	1	0,159	0,186	0,022	,414	0,042	,501
Ti	0,049	0,053	0,106	0,025	0,082	0,142	0,189	,403	,232	,237	0,039	,558	,392	0,082	0,009	,329	0,053	,522	,337	0,159	1	,688	0,087	0,056	,340	,429
V	,353	-,298	0,150	-,428	0,042	0,093	,629	,812	0,053	0,006	0,026	,255	0,129	0,180	0,222	,277	,545	0,145	0,047	0,186	,688	1	0,121	0,116	,477	0,215
W	0,067	,242	,284	,249	0,050	0,177	0,109	0,111	0,126	,238	0,177	0,179	,270	,319	,326	0,006	0,153	,343	,271	0,022	0,087	0,121	1	0,126	0,072	0,134
Y	,241	,474	,325	,414	0,095	,363	0,016	0,008	,405	,328	0,145	0,103	,323	,287	,434	0,154	-,259	0,007	0,044	,414	0,056	0,116	0,126	1	0,224	,230
Zn	,523	0,175	,243	0,091	,250	0,172	,428	,675	,279	,581	0,027	0,145	,445	0,140	0,060	,264	0,189	0,133	0,070	0,042	,340	,477	0,072	0,224	1	0,099
Zr	0,006	,449	,384	,255	0,065	,482	0,036	0,031	,439	0,148	0,039	,627	,387	0,062	,264	0,139	-,252	,631	,583	,501	,429	0,215	0,134	,230	0,099	1

Tabla 6-Matriz de coeficientes de correlación de las muestras correspondientes a la red 2.

	Ag	Be	Bi	Ca	Cd	Cs	Cu	Fe	Li	Mn	Mo	Nb	P	Pb	Rb	S	Sb	Sn	Ta	Th	Ti	V	W	Y	Zn	Zr
Ag	1	-,144	-,240	0,057	,314	-,223	,504	,445	-,123	,185	,202	-,210	0,015	0,106	-,241	,413	,342	-,194	-,143	-,240	0,020	,270	0,106	,227	,518	0,004
Be	-,144	1	,716	,410	0,101	,759	-,268	-,162	,713	,143	0,018	,426	,531	,419	,624	0,001	-,439	,531	,348	,583	,253	0,076	,362	,172	0,064	,336
Bi	-,240	,716	1	,308	0,018	,837	-,330	-,253	,719	0,034	-,149	,478	,547	,482	,651	-,150	-,528	,621	,328	,471	,215	0,088	,436	-,149	0,098	,212
Ca	0,057	,410	,308	1	,203	,272	-,157	-,143	,204	,285	0,050	0,113	,304	0,101	,230	0,111	-,350	0,115	0,105	,304	,130	-,133	,249	,312	0,108	0,105
Cd	,314	0,101	0,018	,203	1	0,012	,355	,347	0,050	,276	0,034	0,001	,262	0,067	0,091	,386	0,116	0,004	0,021	0,039	,144	,287	,156	,295	,475	,151
Cs	-,223	,759	,837	,272	0,012	1	-,313	-,175	,815	0,046	0,082	,518	,609	,471	,659	0,109	-,545	,687	,396	,471	,253	0,014	,492	-,120	0,017	,282
Cu	,504	-,268	-,330	-,157	,355	-,313	1	,836	0,061	,290	0,010	-,256	-,129	-,325	-,432	,165	,467	-,172	-,264	-,402	0,034	,598	0,001	,327	,682	,151
Fe	,445	-,162	-,253	-,143	,347	-,175	,836	1	0,090	,252	0,083	-,127	0,015	-,297	-,419	,189	,402	0,087	-,224	-,299	0,069	,718	0,046	,328	,705	,332
Li	-,123	,713	,719	,204	0,050	,815	0,061	0,090	1	0,069	0,092	,427	,558	,314	,562	0,086	-,313	,619	,277	,384	,311	,224	,378	0,048	,220	,423
Mn	,185	,143	0,034	,285	,276	0,046	,290	,252	0,069	1	0,032	0,006	,189	0,012	0,068	0,116	0,051	0,037	0,008	0,077	0,079	,151	0,113	,290	,341	0,103
Mo	,202	0,018	-,149	0,050	0,034	0,082	0,010	0,083	0,092	0,032	1	0,026	0,011	0,071	0,066	,263	0,084	0,010	,183	0,020	0,047	-,130	0,059	0,051	0,093	0,024
Nb	-,210	,426	,478	0,113	0,001	,518	-,256	-,127	,427	0,006	0,026	1	,600	,276	,356	0,022	-,360	,774	,798	,269	,540	,167	,191	-,292	0,098	,496
P	0,015	,531	,547	,304	,262	,609	-,129	0,015	,558	,189	0,011	,600	1	,431	,447	,339	-,332	,603	,472	,318	,527	,245	,305	-,167	,203	,460
Pb	0,106	,419	,482	0,101	0,067	,471	-,325	-,297	,314	0,012	0,071	,276	,431	1	,498	0,098	-,275	,321	,262	,401	,215	-,117	0,115	-,173	0,027	0,051
Rb	-,241	,624	,651	,230	0,091	,659	-,432	-,419	,562	0,068	0,066	,356	,447	,498	1	0,056	-,413	,494	,312	,389	0,113	-,256	,251	0,036	-,166	,129
S	,413	0,001	-,150	0,111	,386	0,109	,165	,189	0,086	0,116	,263	0,022	,339	0,098	0,056	1	,174	0,006	,179	0,058	,151	,140	0,114	0,015	,262	0,085
Sb	,342	-,439	-,528	-,350	0,116	-,545	,467	,402	-,313	0,051	0,084	-,360	-,332	-,275	-,413	,174	1	-,402	-,249	-,317	0,050	,266	-,263	,206	,280	0,108
Sn	-,194	,531	,621	0,115	0,004	,687	-,172	0,087	,619	0,037	0,010	,774	,603	,321	,494	0,006	-,402	1	,640	,298	,447	,199	,317	-,275	0,048	,461
Ta	-,143	,348	,328	0,105	0,021	,396	-,264	-,224	,277	0,008	,183	,798	,472	,262	,312	,179	-,249	,640	1	,218	,408	0,004	,173	-,280	-,146	,315
Th	-,240	,583	,471	,304	0,039	,471	-,402	-,299	,384	0,077	0,020	,269	,318	,401	,389	0,058	-,317	,298	,218	1	,367	-,145	0,092	,194	0,055	,324
Ti	0,020	,253	,215	,130	,144	,253	0,034	0,069	,311	0,079	0,047	,540	,527	,215	0,113	,151	0,050	,447	,408	,367	1	,530	0,106	0,026	,124	,495
V	,270	0,076	0,088	-,133	,287	0,014	,598	,718	,224	,151	-,130	,167	,245	-,117	-,256	,140	,266	,199	0,004	-,145	,530	1	0,040	0,109	,499	,469
W	0,106	,362	,436	,249	,156	,492	0,001	0,046	,378	0,113	0,059	,191	,305	0,115	,251	0,114	-,263	,317	,173	0,092	0,106	0,040	1	0,027	0,082	0,082
Y	,227	,172	-,149	,312	,295	-,120	,327	,328	0,048	,290																

8.4.3-ANÁLISIS MULTIVARIANTE

El análisis multivariante es un conjunto de técnicas estadísticas que permite estudiar de forma conjunta más de dos variables, para identificar posibles relaciones, patrones o grupos que compartan características similares. En este caso, utilizando la metodología del Análisis de Componentes Principales (ACP), se pretende resumir la información de todas las variables (26 elementos) en un número menor llamando componentes principales, manteniendo la máxima cantidad de información posible. Los nuevos componentes o factores obtenidos son una combinación lineal de las variables originales y son independientes entre sí, ordenándose en función de la cantidad de varianza que explican. La primera componente contiene la mayor cantidad de variabilidad original posible, y que el segundo factor recoge la máxima variabilidad restante que no haya sido considerada por el primer factor, y así sucesivamente. El número de componentes principales final será por tanto aquél que contenga el porcentaje de variabilidad deseado.

Componente	En general	Red 1	Red 2	Red 3
1	22,596	23,590	26,974	23,506
2	36,256	38,949	41,712	38,843
3	44,026	47,768	52,476	46,920
4	50,490	54,516	60,002	53,905
5	56,482	59,620	65,547	60,463
6	60,878	64,022	70,536	65,438
7	65,081	68,209	74,792	69,482
8	69,059	72,043	77,967	73,411

Tabla 8- Porcentajes de varianza total acumulada.

Realizando el estudio mediante el SPSS, de las 26 variables consideradas en este TFG, el ACP consigue con ocho componentes obtener un porcentaje de variabilidad explicado del 70%. Lo mismo ocurre al segmentar los datos por redes de drenaje; con ocho componentes el porcentaje de variabilidad explicado es del 70% o más en todos los casos (véase Tabla 8).

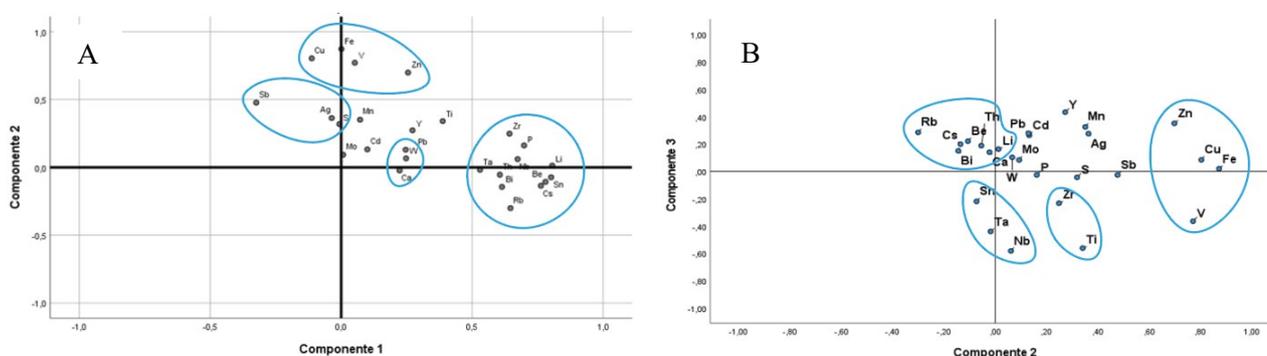


Fig. 12- Gráficos de componentes **general**: A) componente 2 frente a 1. B) componente 3 frente a 2.

En la figura 12, se observan las siguientes asociaciones de elementos:

Componente 2 frente a 1 (A):

- P, Li, Be, Bi, Cs, Rb, Th, Zr, Sn, Ta y Nb
- Sb, Ag y S
- W y Ca.
- Fe, V, Cu y Zn

Componente 3 frente a 2 (B)

- Li, Be, Bi, Cs, Rb y Th
- Sn, Ta y Nb
- Zr y Ti
- Fe, V, Cu y Zn.

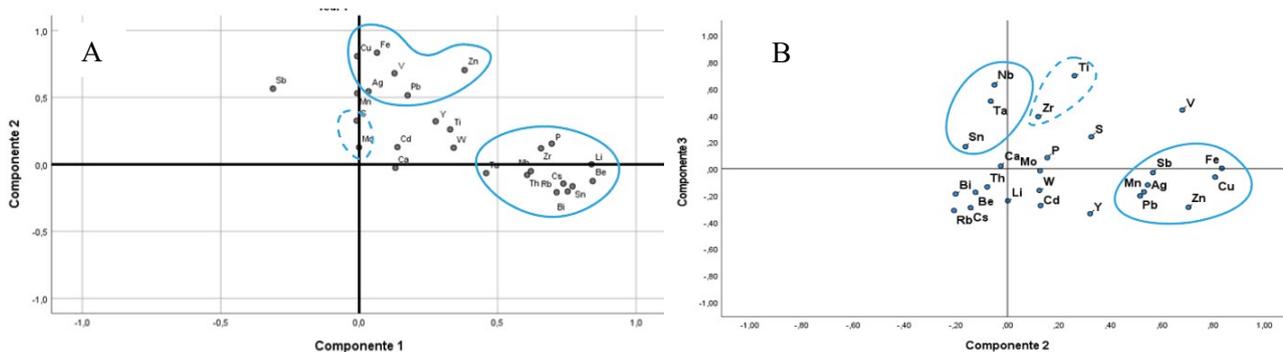


Fig. 13-Gráficos de componentes red 1: A) componente 2 frente a 1. B) componente 3 frente a 2.

En la figura 13, se observan las siguientes asociaciones de elementos:

Componente 2 frente a 1 (A):

- P, Li, Be, Bi, Cs, Rb, Th, Zr, Sn, Ta y Nb
- S y Mo.
- Fe, V, Cu, Ag, Pb y Zn

Componente 3 frente a 2 (B)

- Sn, Ta y Nb
- Zr y Ti
- Fe, Cu, Zn, Sb, Ag, Pb y Mn

En la figura 14, se observan las siguientes asociaciones de elementos:

- Zr, P, Li, Nb, Ta, Th, Cs, Ca, Y, Be, Rb, Sn y Bi.
- V, Fe y Cu.

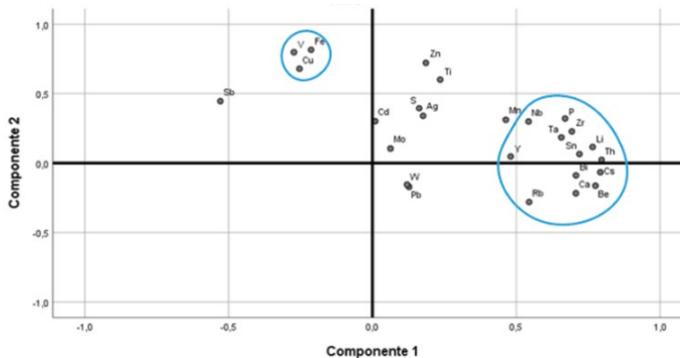


Fig. 14-Gráficos de componentes red 2: componente 2 frente a 1. 1.

En la figura 15, se observan las siguientes asociaciones de elementos:

- P, Th, Nb, Li, Sn, Ta, Be, Cs, Bi y Rb.
- Cu, Fe, V, Zn y Cd.
- Sb, Ag y S.

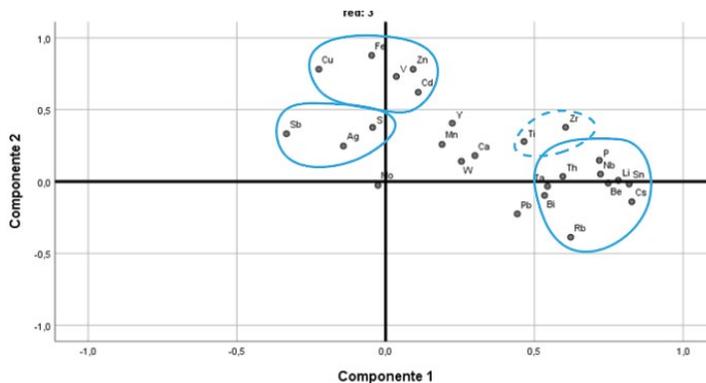


Fig. 15-Gráficos de componentes red 3: componente 2 frente a 1.

9. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Después de realizar el análisis estadístico de los datos analíticos de las muestras del área estudiada, en el cual se han examinado los coeficientes de correlación y las posibles asociaciones entre los elementos, así como las anomalías geoquímicas, se han considerado el Sn-W, Li y Pb como elementos indicadores y el Nb-Ta, Be-Cs-Rb-P y Cu-Zn y Mo como sus principales elementos asociados, así como otros elementos, igualmente significativos, como son Ca, Mn, Ti, Zr, Sb, Bi, Ag, Cd, S, Fe, V, Th e Y.

9.1-ASOCIACIONES ENTRE ELEMENTOS

Las asociaciones de elementos, observadas en los análisis bivariante y multivariante, tanto en el marco general de la zona de estudio, como en las tres redes de drenaje por separado, están determinadas fundamentalmente por las mineralizaciones presentes en la zona, ya que son las posibles áreas fuente de los sedimentos analizados, siendo además las responsables de las anomalías geoquímicas calculadas en este estudio.

A continuación, se describen y se realiza una discusión de estas asociaciones de elementos, partiendo de los elementos indicadores.

Estaño (Sn)

Las correlaciones positivas del Sn con el Nb y el Ta, a nivel general y en las tres redes de drenaje diferenciadas, recogidas en las matrices de coeficientes de correlación (Tablas 4, 5, 6 y 7) y reflejados por los gráficos del ACP (Figs. 12, 13, 14 y 15), especialmente por la componente 3, están condicionados fundamentalmente por las mineralizaciones filonianas de estaño, cuya mena principal la casiterita, la cual se encuentra asociada minerales del grupo de la columbita (MGC) aislados o bien como microinclusiones en su interior o como sustituciones del Sn por estos elementos. Entre estas mineralizaciones se encuentran las existentes en Lumbrales, en la red de drenaje 1, y en el distrito de Navasfrías, en la red de drenaje 3.

Estos tres elementos presentan, a su vez, coeficientes de correlación positivos y cierta asociación con el Ti y el Zr, lo que puede ser explicado por la presencia de Ta en el rutilo rico en Ta, como ocurre en las mineralizaciones de Navasfrías y/o por la presencia de rutilo y circón, formando parte de los minerales pesados en los yacimientos secundarios de la zona de Puebla de Azaba, en la red 3, y de la mina de El Cubito, que se encuentra próxima a la zona estudiada, en la red 1, en la que la casiterita presenta microinclusiones de columbotantalita y/o ilmenorutilo.

Litio (Li)

El Li presenta también coeficientes de correlación positivos elevados con el Sn, así como con el P, Cs, Be, y Bi, los cuales presentan a su vez correlaciones positivas entre sí (Tablas 4, 5, 6 y 7), siendo esta asociación claramente observada en los gráficos correspondientes al ACP (Figs. 12, 13, 14 y 15), y que pone de relieve las mineralizaciones relacionadas con las pegmatitas y aplopegmatitas existentes en la red 3, en La Barquilla, constituidas por casiterita, fosfatos de litio (montebrasita) y bismuto nativo, Castillejo de dos Casas, donde el Li forma parte de la lepidolita y en el área de Villasrubias donde este elemento se encuentra formando parte tanto de los fosfatos (amblygonita-montebrasita) como de las micas de litio (moscovita litinífera y lepidolita), y en las mineralización de Aldehuela de la Bóveda-Garcirrey, en la red 1, donde el Li forma parte de los fosfatos de la serie litiofilita-trifilita.

Los elementos anteriores también presentan correlaciones positivas y asociación con el Th, elemento que con frecuencia entra a formar parte de minerales de uranio y/o en el circón en las pegmatitas y aplopegmatitas, como se ha puesto de manifiesto en mina Julita en Aldehuela de la Bóveda-Garcirey.

Estas mineralizaciones pegmatíticas presentan también en su composición columbotantalita, tapiolita y microlita, pero las correlaciones del Li con el Nb y Ta, aunque son positivas, no son muy elevadas, debido probablemente a la presencia de estos elementos formando parte de las mineralizaciones filonianas, como ya se ha señalado.

Wolframio (W)

El W no muestra coeficientes de correlación elevados con ninguno de los elementos considerados, si bien se observa cierta asociación con el Ca en el ACP general y de la red 3 (Fig. 15). Esto es indicativo de la presencia scheelita en las mineralizaciones del distrito de Villar del Ciervo-Bañobárez, Navasfrías y Villasrubias, donde también existe wolframita, aunque normalmente no forman parte de la misma asociación mineral.

Molibdeno (Mo)

El Mo tampoco muestra coeficientes de correlación elevados con ninguno de los elementos considerados, observándose cierta asociación con el S en el ACP de la red 1, que pone de relieve su presencia en las mineralizaciones de Lumbrales, formando parte de la molibdenita (Fig. 13).

Plomo (Pb)

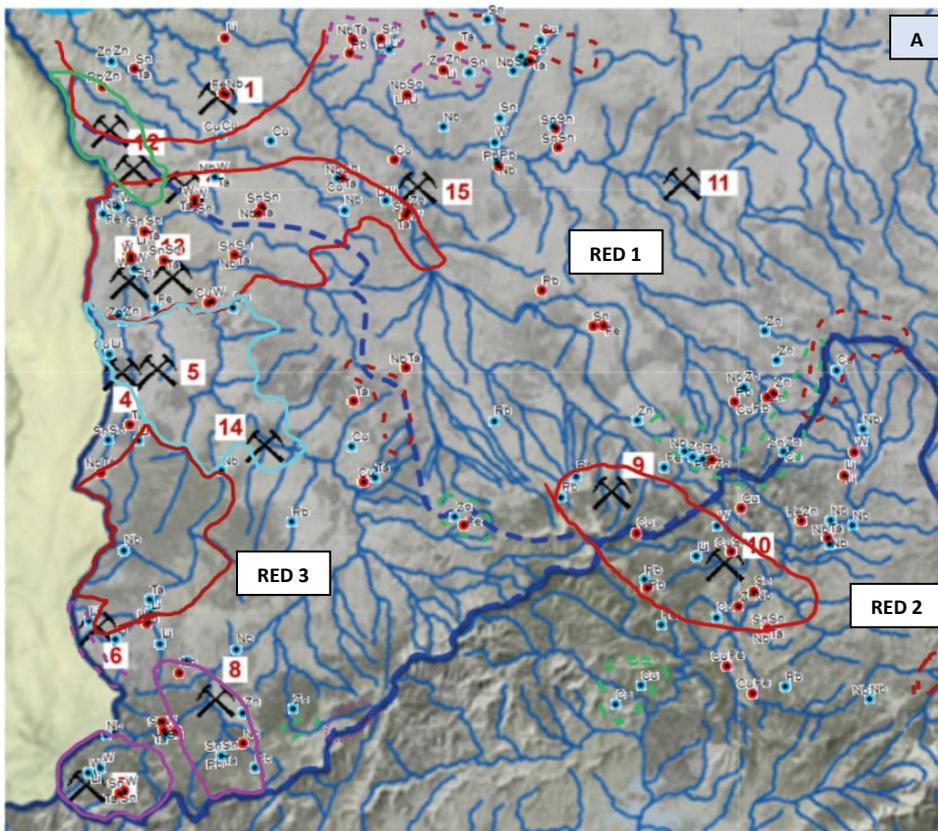
El Pb tiene un comportamiento similar, no mostrando coeficientes de correlación altos con ninguno de los elementos considerados. Sin embargo, sí puede observarse una asociación bastante clara con la Ag y el Cu, Fe, V y Zn, en la red 1 (Fig. 13), reflejado en la componente 2 del ACP, lo que puede interpretarse por la presencia de sulfosales de Cu y Ag y su asociación con sulfuros de Cu y Fe (calcopirita, bornita y digenita) y Zn (esfalerita), descritos en las mineralizaciones de Lumbrales, así como en las mineralizaciones de Sobradillo-Ahigal de los Aceiteros.

El Cu, Fe, V y Zn presentan, a su vez, coeficientes de correlación elevados y positivos entre ellos, lo que es reflejado claramente por la componente 2 del ACP general y de las redes 1 y 3 (Figs. 12, 13 y 15), debido a la presencia de los sulfuros antes señalados en la mayor parte de las mineralizaciones de esta zona. Además, en la red 3, el Cu presenta también coeficientes elevados y positivos con el Sb y la Ag, observándose además la asociación de estos elementos en los gráficos correspondientes a los ACP de las redes 1 y 3, componente 2, debido a la presencia de sulfosales en las mineralizaciones de estas dos redes (Lumbrales, La Barquilla y distrito de Navasfrías).

9.2-ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS

A partir de las anomalías geoquímicas obtenidas en esta investigación, en las tres redes de drenaje diferenciadas, se han establecido las posibles áreas fuente, responsables de dichas anomalías para los elementos principales anteriormente establecidos (Fig. 16).

La mayoría de estas áreas fuente coinciden con las mineralizaciones investigadas anteriormente por diferentes autores, y que han sido descritas en el apartado 5 de este TFG. Las anomalías geoquímicas relacionadas con estas áreas fuente preexistentes han posibilitado modificarlas parcialmente, en base a su distribución.



- LEYENDA**
- Áreas mineralizadas ya identificadas (modificado de Siemcalsa, 1997)**
- Sn-W (Nb-Ta)
 - Sn-W (Nb-Ta)-Li
 - U y Sn (Nb-Ta)-Li
 - Pb (Zn-Cu-Fe)
 - ⚡ Indicios mineros (ver figura 9)
- Nuevas áreas mineralizadas a investigar (este trabajo)**
- - - Sn-W (Nb-Ta)
 - - - Sn-W (Nb-Ta)-Li
 - - - Pb (Zn-Cu-Fe)
 - Anomalías $m \pm 2s$
 - Anomalías $m \pm 3s$
 - - - División de las redes de drenaje

Rocas sedimentarias y metamórficas

- 10.- Fm. Calizas de la Aquiana.
- 9.- Fm. Luarda, Agüeria y equivalentes: pizarras y areniscas.
- 8.- Cuarcita Armociana.
- 7.- Serie de los Cabos y equivalentes, Fms. Oville y Barrios: cuarcitas, areniscas y pizarras.
- 6.- Fms. Calizas y Tamames, Vegado y Láncara: calizas y dolomías.
- 5.- Gneises tipo Olla de Sapo.
- 4.- Series metasedimentarias indiferenciadas.
 - T- Capas conspicuas: conglomerados, cuarcitas y pizarras negras.
 - C- Capas conspicuas carbonatadas.
- 3.- Fms. Aldeatejada y Areniscas de Tamames, G. Cándana y Fm. Herrera: areniscas, pizarras y conglomerados.
- 2.- Fm. Monterrubio: pizarras y conglomerados.
- 1.- Unidad Inf., Serie de villalba, Fm. Mora: pizarras y areniscas

Rocas ígneas

- 62.- De grano medio-grueso y de dos micas.
- 61.- De grano fino-medio y de dos micas.
- 60.- Moscovíticos + turmalina y complejos aplopegri
- 59.- De grano grueso + cordierita.
- 58.- De grano grueso + anfíbol.
- 57.- De grano medio-grueso + moscovita.

MINERALES METÁLICOS

- As, Sb, Au
- Au
- Cu
- Fe, Mn
- Hg
- Pb, Zn, Cu
- Sn, W

RECURSOS ENERGÉTICOS

- Uranio

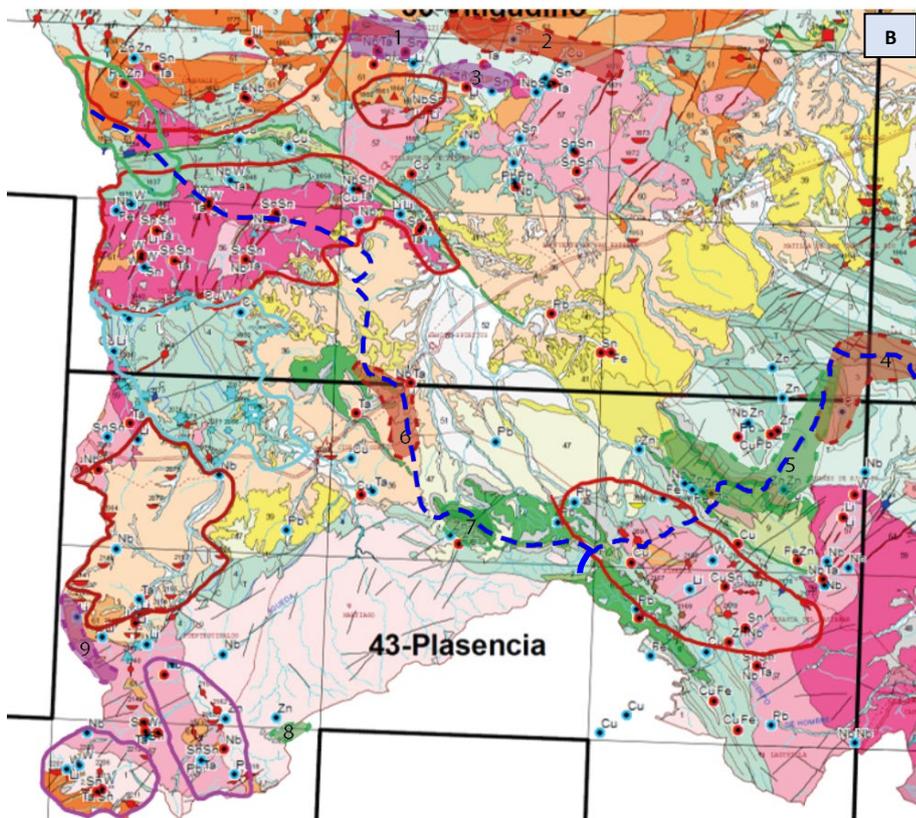


Fig. 16-Mapas hidrogeográfico (A) y geológico (B), mostrando la distribución de las anomalías geoquímicas de los elementos principales, los distritos e indicios mineros existentes (modificados de Siemcalsa, 1997) y las nuevas áreas fuente establecidas en este trabajo.

El estudio geoquímico llevado a cabo en este TFG, ha permitido, además, identificar 9 nuevas áreas mineralizadas que pueden ser investigadas en el futuro (Fig. 16):

- ✓ **Posibles nuevas áreas fuente de Sn-W-Nb-Ta:** 2, 4 y 6.
- ✓ **Posibles nuevas áreas fuente Sn-W-Nb-Ta \pm Li:** 1, 3 y 9.
- ✓ **Posibles nuevas áreas fuente de Pb-Zn-Cu-Fe:** 5, 7 y 8.

En relación con las nuevas áreas fuente identificadas, cabe señalar lo siguiente:

- Las mineralizaciones de las áreas 1, 2 y 3 estarían relacionadas con las rocas graníticas variscas, encajadas en los materiales cámbricos de las Fms. Aldeatejada y Areniscas de Tamames (Fig. 16B).
- Las mineralizaciones de las áreas 4 y 5 estarían asociadas al Complejo esquistos Grauváquico (Fms. Aldeatejada, Areniscas de Tamames y Monterrubio) y a los materiales ordovícicos (Fms. Cuarcita Armoricana y Luarca).
- Las mineralizaciones de las áreas 6 y 7 se encontrarían igualmente asociadas a los materiales ordovícicos de la Fm. Cuarcita Armoricana y cámbricos-ordovícicos de la Serie de los Cabos.
- Las mineralizaciones del área 8 estarían localizadas en los materiales precámbricos correspondientes a la Unidad Inferior.
- Finalmente, la mineralización del área 9 estaría asociada a las rocas graníticas variscas del Batolito de Cadalso-Casillas de Flores.

10. CONCLUSIONES

El estudio geológico y metalogénico y el tratamiento estadístico de los resultados analíticos realizado en este Trabajo de Fin de Grado, ha permitido obtener las siguientes conclusiones:

- 1) El análisis univariante ha puesto de relieve un enriquecimiento en las concentraciones medias de Ag, Be, Bi, Cs, Cu, Li, Pb, Rb, Sb, Sn, Th, W, Y y Zn, con respecto a la composición de la corteza continental superior, coherente con la mineralogía principal de las mineralizaciones descritas en la zona de estudio.
- 2) Los coeficientes de correlación entre elementos (análisis bivariante) y las asociaciones de elementos (análisis multivariante: ACP) están determinadas fundamentalmente por las mineralizaciones presentes en la zona, siendo además las responsables de las anomalías geoquímicas calculadas en este estudio.
 - ✓ Las correlaciones elevadas y positivas del Sn con el Nb y el Ta, son indicativas de la presencia de casiterita acompañada de minerales del grupo de la columbita (MGC) aislados, o bien como microinclusiones o como sustituciones del Sn por Nb y Ta en la casiterita, común en las mineralizaciones filonianas de estaño, entre las que se encuentran las existentes en Lumbrales y en el Granito del Jálama y Villasrubias.
 - ✓ La asociación del Sn, Nb y Ta con el Ti y el Zr, reflejan la existencia de rutilo rico en Ta y struverita, identificados en las mineralizaciones del Granito del Jálama y Villasrubias y/o por la presencia de rutilo y circón en los yacimientos de tipo placer del área de Puebla de Azaba.
 - ✓ Los coeficientes de correlación elevados y positivos y las asociaciones del Li-Sn-Be-Cs-P y Bi, evidencian la presencia de minerales de litio: fosfatos (ambligonita-montebrazita y/o litiofilita-trifilita) y micas de litio (moscovita litinífera y lepidolita), junto a casiterita y bismuto nativo, que constituyen las mineralizaciones asociadas a pegmatitas y aplopegmatitas de La Barquilla, Castillejo de dos Casas, Villasrubias y Aldehuela de la Bóveda-Garcirrey.
 - ✓ La asociación del W con el Ca indica la presencia de scheelita, presente en las mineralizaciones de Sn-W del área de Villar del Ciervo-Bañobárez, Granito del Jálama, Villasrubias y el Granito de La Alberca.

- ✓ La asociación del Mo con el S refleja la presencia de molibdenita, frecuente en las mineralizaciones de Lumbrales.
- ✓ La asociación del Pb con el Cu, Fe, V y Zn, y los coeficientes de correlación elevados y positivos entre estos últimos cuatro elementos, es indicativa de la presencia galena, junto a sulfuros de Fe y Cu (pirita, calcopirita, bornita y digenita) y Zn (esfalerita), minerales importantes en la mayor parte de las mineralizaciones de la zona estudiada, entre las que cabe citar las de Sobradillo-Ahigal de los Aceiteros.
- ✓ La asociación del Pb con la Ag, el Cu y el Sb, pone de relieve la presencia de sulfosales de estos elementos, comunes en las mineralizaciones de Lumbrales, La Barquilla y el Granito del Jálama.

Las anomalías geoquímicas calculadas para los elementos químicos más representativos de las mineralizaciones del área estudiada y su distribución en las tres redes de drenaje, han permitido establecer sus posibles áreas fuente.

- ✓ La mayoría de las áreas fuente coinciden con las previamente establecidas, siendo parcialmente modificadas, en cuanto a su extensión, en este estudio.
- ✓ Para las mineralizaciones de Sn-W-Nb-Ta se han establecido las áreas fuentes ya identificadas de Lumbrales con Mina Mari Tere, Villar de Ciervos-Bañobárez, Puebla de Azaba, Granito del Jálama con las minas La Salmantina, Mari Carmen, Horia y Bon, Yecla de Yeltes y Granito de La Alberca con los indicios de El Cabaco y Miranda del Castañar y se han determinado 3 nuevas áreas fuente (números 2, 4 y 6).
- ✓ Para las mineralizaciones de Sn-W-Nb-Ta±Li se han establecido las áreas fuentes ya identificadas del Granito del Jálama con mina Cruz del Rayo, Villasrubias con mina La Canalita y Aldehuela de la Bóveda con mina Julita, así como las existentes en Castillejo de dos Casas y La Barquilla, ubicadas dentro el distrito de U del área de Ciudad Rodrigo, y se han determinado 3 nuevas áreas fuente (números 1, 3 y 9).
- ✓ Para las mineralizaciones de Pb-Zn-Cu-Fe se han establecido las áreas fuentes ya identificadas de Sobradillo-Ahigal de los Aceiteros y se han determinado 3 nuevas (números 5, 7 y 8).

En conclusión, el tratamiento estadístico de datos analíticos de muestras de sedimentos pone de manifiesto que se trata de un método eficaz para establecer las áreas fuente de elementos químicos de interés, dado que la mayoría de las áreas fuente establecidas coinciden parcialmente con las ya determinadas en la zona de estudio. No obstante, ha permitido descubrir otras nuevas posibles mineralizaciones que podrían ser objeto de investigación en el futuro.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Arribas, A. (1970): Las pizarras uraníferas de la provincia de Salamanca. *Stud. Geol. Salmant.* I, 7-45.
- Arribas, A. (1985): Origen, transporte y deposición del uranio en los yacimientos en pizarras de la provincia de Salamanca. *Estudios Geol.*, 41, 2-20.
- Arribas, A. (1992): Yacimientos españoles de Uranio. En: *Recursos Minerales de España*. (García Guinea, J., Martínez Frías, J., Eds.). CSIC. 1403-1419.
- Barrios, S. (2021): <https://www.foro-minerales.com/forum/viewtopic.php?p=154138>
- Cantano, M. y Molina, E. (1987): Aproximación a la evolución morfológica de la "Fosa de Ciudad Rodrigo", Salamanca, España. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol)*, 82 (1-4), 87-101.
- Carballeira, J., Corrales, I. y Pol, C. (1980): Características del Ordovícico Inferior en las Unidades de Tamames-Sierra de Francia (Salamanca-Cáceres). *Guía de las Sesiones de Campo. IX Congr. Nac. Sediment. Univ. Salamanca*, 25-47.
- Carnicero, A. (1980): *Estudio petrológico del metamorfismo y los granitoides entre Ciperez y Aldea del Obispo (W. de la prov. de Salamanca)*. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca.
- Carnicero, M. A. (1981): Granitoides del Centro Oeste de la Provincia de Salamanca, clasificación y correlación. *Cuad. Lab. Xeológico de Laxe*. 2, 45-77.
- Díez Balda, M.A. (1986): El Complejo Esquisto-Grauváquico, las series paleozóicas y la estructura varisca al sur de Salamanca. *Acta Salmant. Ser. Ciencias*, 52. Ediciones Univ. Salamanca.
- Díez Balda, M.A., Martínez Catalán, J.R. y Ayarza Arribas, P. (1995): Syn-collisional extensional collapse parallel to the orogenic trend in a domain of steep tectonics: the Salamanca Detachment Zone (Central Iberian Zone, Spain). *Jour. Struct. Geol.* 17, 163-182.
- Fort, R. y Gonzalo, F. (1985): Las mineralizaciones de Sn-Ti del borde occidental de la cuenca de Ciudad Rodrigo. *Cuad. Lab. Xeológico de Laxe*. 9, 203-220.
- García Luis, A. (1992): *Caracterización químicomineralógica y potencial metalogenético del basamento paleozóico del O de la provincia de Salamanca*. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca. 875pp.
- García Luis, A.I.; Cembranos, M.L. y Pedraza, M. (1995): Geoquímica y mineralizaciones de Cu (Ni), Zn y Pb en el Macizo de Lumbrales. Oeste de la provincia de Salamanca. *Bol. Geol. Min.* 106-4, 338-357.
- González, F. J., Moro, M. C., Villar, P. y Fernández, A. (2000): El Au en el campo filoniano de W-(Sn) de El Cabaco (Salamanca). *Geotemas*. 1(4), 35-39.
- Gonzalo Corral, F.J. y López Plaza, M. (1983): Tipificación estructural de los filones estannovolfamíferos más representativos de la penillanura salmantino-zamorana. *Stud. Geol. Salmant.*, XVIII, 159-170.
- Hassan, A. (1996): *Estudio de los granitos uraníferos del macizo de Cadalso-Casillas de Flores (Salamanca-Cáceres, España)*. Tesis Doctoral. Univ. Complutense de Madrid. 318pp.
- Huertas, F.J. y Butcher, A. R. (2015): Mineralogy of the Uranium Ore in the Retortillo-Santidad Deposit (Salamanca, Spain): a QEMSCAN Study. *Conference: Society for Geology Applied to Mineral Deposits (SGA), Nancy*, 4pp.
- Julivert, M., Fontboté, J.M., Ribeiro, A. y Nabais-Conde, L.E. (1972): Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares a escala 1:1.000.000. *IGME, Memoria explicativa*. 113.
- Junta de Castilla y León (1988): *Los recursos minerales de Castilla y León. N° 2. Estaño*. 132pp.
- Lepeltier, C. (1969). A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. *Econ. Geol.*, 64(5), 538-550.
- Llorens, T. (2011): *Las mineralizaciones magmático-hidrotermales de Sn-W-(Nb-Ta) del distrito de Navasfrías (SO de Salamanca)*. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca. 370pp.

- Llorens, T. y Moro, M.C. (2010a): Microlite and tantalite in the LCT granitic pegmatites of La Canalita, Navasfrías Sn-W District, Salamanca, Spain. *Can. Mineral.*, 48, 549-564.
- Llorens, T. y Moro, M.C. (2010c): Columbite-group minerals in the Cruz del Rayo pegmatite dikes, SW Salamanca, Spain. *IMA2010. Acta Miner.-Petro, Abstract Series*. 6, 167. *Budapest, Hungría*.
- López Plaza, M. (1982): *Contribución al conocimiento de la dinámica de los cuerpos graníticos de la penillanura salmantino-zamorana*. Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca. 332pp.
- López Plaza, M., Carnicero, A. y Rodríguez Alonso, M. D. (1984): Estructura del granito de Villar del Ciervo (Salamanca). *I Cong. Esp. Geol., Segovia*. Tomo II, 177-192.
- Martín Herrero, D. (1989): Los materiales Precámbrico-Cámbricos al O y S de Ciudad Rodrigo (Salamanca): series, discordancias y correlaciones. *Bol. Geol. Min.*, 100, 169-177.
- Martín Izard, A. y Palero, F. (1985): El stocksheider de Castillejo de dos Casas (provincia de Salamanca) y las mineralizaciones asociadas. *Mem. Fac. Ciencias Oporto*. 1, 457-468.
- Martín Izard, A., Reguilón, R. y Palero, F. (1992): Las mineralizaciones litíferas del Oeste de Salamanca y Zamora. *Estudios Geol.*, 48, 19-30.
- Martin-Izard, A., Arribas, A., Arias, D., Ruiz, J. and Fernández, F.J. (2002): The Fe deposit, deposit, west-central Spain: Tectonic hydrothermal uranium mineralization associated with transpressional faulting of Alpine age. *Can. Mineral.*, 40, 1505-1520.
- Martínez Catalán, J.R. (2011). The Central Iberian arc: implications for the Iberian massif. *Geogaceta*, 50(1), 7-10.
- Martínez Catalán, J.R., Martínez Poyatos, D. y Bea, F. (2004): Zona Centroibérica. En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.). SGE-IGME, Madrid, España. 68-133.
- Mediavilla, R. y Martín Serrano, A. (1989): Sedimentación y tectónica en el sector oriental de la Fosa de Ciudad Rodrigo durante el Terciario. *XII Cong. Español Sedim., común*. 1, 215- 218.
- Murciego, A., Gonzalo Corral, F.J., Martín Pozas J.M., García Sánchez, A., Pellitero, E. y Añorbe, M. (1991): Estudio mineralógico y cristalquímico de la mineralización estannífera del área minera de Barquilla (Salamanca), CEG. *Bol. Soc. Esp. Mineral.*, 14-1, 103-104.
- Murciego, A., García Sánchez, A. y Martín Pozas, J.M. (1987): Microinclusiones en casiteritas de distintos tipos de yacimientos del centro-oeste de España. *Cuad. Lab. Xeológico de Laxe*, 12, 273-287.
- Murciego, A., García Sánchez, A., Martín Pozas, J.M. y Gonzalo Corral, J.P. (1992): Estudio mineralógico y cristalquímico de la casiterita del yacimiento de Lumbrales, Salamanca, España. *III Cong. España, VIII Cong. Latinoamericano de Geología*. 3, 228-232.
- Pascua, M., Murciego, A., Pellitero, E., Babkine, J. y Dusauroy, Y. (1997): Sn-Ge-Cd-Cu-Fe Bearing sulfides and sulfosalts from the Barquilla deposit, Salamanca, Spain. *Can. Mineral.*, 35, 39-52.
- Ramírez, J.A. y Grundvig, S. (2000): Causes of geochemical diversity in peraluminous granitic plutons: the Jálama pluton, Central-Iberian Zone (Spain and Portugal). *Lithos*, 50, 171-190
- Reguilón, R. M., Martín-Izard, A. y Aguiar, A. (2001): The Sn-W sulphide mineralizations of the southern end of the Villar del Ciervo granite, Salamanca, Spain. *Mineral Deposits at the Beginning of the 21st century*, Swers & Zeitlinger Publishers Lisse.
- Roda, E., Pesquera, A., Fontan, F. y Keller, P. (2004): Phosphate mineral associations in the Cañada pegmatite (Salamanca, Spain): Paragenetic relationships, chemical compositions, and implications for pegmatite evolution. *Amer. Mineral.*, 89, 110-125.
- Roda-Robles, E., Pesquera, A., Velasco, F., Vieira, R., Lima, A., Garate-Olave, I., Martins, T. y Torres-Ruiz, J. (2015a): Geology and mineralogy of Li mineralization in the Central Iberian Zone, Spain and Portugal. *Mineral. Mag.*, 80, 103-126.

- Roda-Robles, E., Pesquera, A., Gil-Crespo, P.P., Garate-Olave, I. y Torres-Rúiz, J. (2015b): The Li-Rich Aplopegmatite from Castillejo de Dos Casas (Salamanca, Spain): Example of a Highly Fractionated Granite-Pegmatite System. *13th SGA Biennial meeting Nancy-France*, 2, 835-838
- Rodríguez Alonso, M.D. (1985): El Complejo Esquisto-Grauwáquico y el Paleozoico en el Centro-Oeste español. *Acta Salamant.* 51, 1-174.
- Rodríguez Alonso, M.D. y Alonso Gavián, G. (Eds.) (1995): Neoproterozoic-Lower Cambrian in the Central-Western part of the Iberian Peninsula. Spain-Portugal. *Post-Confer. Field guide, XIII Geol. Meet. West of the Iberian Peninsula*, 120 pp.
- Rodríguez Alonso, M.D., Peinado, M., López Plaza, M., Franco, P., Carnicero, A. y Gonzalo, J.C. (2004): Neoproterozoic-Cambrian synsedimentary magmatism in the Central Iberian Zone (Spain): Geology, petrology and geodynamic significance. *Int. Jour. Earth. Sci.* 93, 897-920.
- San José, M.A., Pieren, A., García Hidalgo, F.J., Vilas, L., Herranz, P., Peláez, J.R. y Perejón, A. (1990): Central Iberian Zone. Ante-Ordovician Strati graphy. En: *Pre-Mesezoic Geology of Iberia* (R.D. Dallmayer y E. Martínez García, Eds.), Springer-Verlag, Berlín. 147-159.
- SIEMCALSA (1997). Mapa Geológico y Minero de Castilla y León Escala 1:400.000. Junta de Castilla y León.
- Ugidos, J.M., Valladares, M.I., Recio, C., Rogers, G., Fallick, A.E. y Stephens, W.E. (1997b): Provenance of Upper Precambrian-Lower Cambrian shales in the Central Iberian Zone, Spain: evidence from a chemical and isotopic study. *Chem. Geol.* 136, 55-70.
- Valladares, M.I., Barba, P. y Ugidos, J.M. (2002): Precambrian. En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.). *Geol. Soc. (London)*. 7-16.
- Valladares, M.I., Barba, P., Ugidos, J.M., Colmenero, J.R. y Armenteros, I. (2000): Upper Neoproterozoic-Lower Cambrian shales in the Central Iberian Zone: Chemical features and implications for other peri-Gondwanan areas. *J. Conf. Abstracts, 4, Annual Meeting of IGCP Project.* 376, 1021-1022.
- <https://www.ign.es/iberpix/visor/>
- <https://info.igme.es/catalogo/catalog.aspx?catalog=3&shfo=false&shdt=false&master=infoigme&lang=spa&intranet=false>
- <https://info.igme.es/Geoquimica/>
- <https://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50.aspx?language=es>
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=475>
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=476>
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=500>
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=501>
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=502>
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=525>
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=526>
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=527>
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=550>
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=551>
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=552>
- [http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/geologicos1M/Geologico1000_\(2015\)/jpps/EditadoG1000_\(2015\).jpg](http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/geologicos1M/Geologico1000_(2015)/jpps/EditadoG1000_(2015).jpg)

ANEXOS

A continuación, aparecen los resultados de los análisis estadísticos realizados.

A.-NORMALIDAD DE LOS DATOS

Se llevaron a cabo pruebas de hipótesis (Kolmogorov-Smirnov) para evaluar la normalidad de las variables a nivel comarcal y por redes, utilizando una significación del 1%. La hipótesis nula (H₀) estableció la normalidad, mientras que la alternativa (H₁) afirmaba lo contrario. Los resultados indicaron que, en general, las variables no presentaban distribución normal, pero se encontró que Ag, Bi, Cd, Mo, Nb, S, Sb, Ta, Th, W, Zr y Sn sí seguían una distribución lognormal.

Para aceptar la lognormalidad se utilizó un valor de significación (Sig) mayor a 0.01.

SIGNATURA									
	General	Red-1	Red-2	Red-3		General	Red-1	Red-2	Red-3
Ag	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_Ag	<,001	<,001	<,001	<,001
Be	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_Be	<,001	<,001	,200	<,001
Bi	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_Bi	<,001	<,001	<,001	<,001
Ca	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_Ca	,019	,200	,004	,013
Cd	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_Cd	,000	<,001	<,001	<,001
Cs	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_Cs	<,001	<,001	,050	<,001
Cu	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_Cu	<,001	,011	,002	,003
Fe	<,001	<,001	,017	,001	LN_Fe	<,001	,003	,058	<,001
Li	<,001	<,001	,012	<,001	LN_Li	,010	,003	<,001	,034
Mn	<,001	<,001	,015	<,001	LN_Mn	,011	,006	,002	,200
Mo	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_Mo	,000	<,001	<,001	<,001
Nb	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_Nb	<,001	<,001	<,001	<,001
P	<,001	<,001	,020	<,001	LN_P	,200	,200	,200	,200
Pb	<,001	<,001	<,001	,200	LN_Pb	<,001	<,001	,200	,041
Rb	<,001	<,001	,006	<,001	LN_Rb	,041	,200	,200	,200
S	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_S	<,001	<,001	<,001	<,001
Sb	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_Sb	<,001	<,001	,078	<,001
Sn	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_Sn	<,001	<,001	<,001	<,001
Ta	<,001	<,001	<,001	<,001	LN-Ta	<,001	<,001	<,001	<,001
Th	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_Th	<,001	<,001	<,001	<,001
Ti	<,001	<,001	,200	,059	LN_Ti	<,001	<,001	,091	<,001
V	<,001	<,001	,002	<,001	LN_V	,032	,083	,200	,076
W	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_W	<,001	<,001	<,001	<,001
Y	<,001	<,001	<,001	<,001	LN_Y	,037	,200	,200	,030
Zn	<,001	<,001	,200	,005	LN_Zn	<,001	,064	,011	<,001
Zr	<,001	<,001	,004	<,001	LN_Zr	<,001	<,001	<,001	<,001

Tabla 9-Significación de los datos, tanto en términos generales, como por redes de drenaje.

B.- ANALISIS ESTADÍSTICO PARA DETERMINAR SI EXISTEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE LOS VALORES MEDIOS DE LAS SUSTANCIAS POR REDES

Se realiza una comparativa de los valores de las medias de los elementos entre redes, para lo cual, se realizan dos contrastes: uno para ver si las redes tienen la misma varianza, y otro para determinar si se puede suponer igualdad de medias entre las redes. Los resultados de la homogeneidad entre varianzas se muestran en la siguiente tabla, donde aparecen en rojo los elementos que presentan varianzas similares entre redes (porque la sig>0.05).

	Sig.		Sig.		Sig.		Sig.		Sig.		Sig.		Sig.
Ag	,006	Bi	,117	Ca	,096	Cd	,137	Cs	,825	Nb	,066	P	,149
Pb	,062	S	,001	Sb	<,001	Sn	,186	Ta	,132	Zn	,014	Zr	,273

Tabla 10-Resultados de homogeneidad entre varianzas.

Teniendo esto en cuenta, se realiza la comparativa de medias mediante el test de Bonferroni para los que presentan varianzas iguales entre redes. Los resultados muestran diferencias significativas en las medias para el P entre la red 1 y la 2, y para Zr entre la red 1 y 2 y la red 2 y 3. Tal y como aparecen en la tabla:

Variable	Red(I)	Red(J)	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
P	1	2	,016	-245,5704	-18,4708
		3	,067	-140,3900	3,3471
Zr	1	2	<,001	-87,7275	-32,3302
		3	,080	-33,7547	1,3077
	2	1	<,001	32,3302	87,7275
		3	<,001	15,5643	72,0464

Tabla 11-Resultados que muestran diferencias significativas en las medias.

Para los elementos con varianzas distintas entre redes, se realiza el contraste de medias de T2 de Tamhane. Los resultados muestran diferencias significativas en:

- Ag entre la red 1 y 3 y la red 2 con la 3
- Fe entre la red 2 con la 1 y la 3
- Li entre la red 1 y la 3
- Mn diferencia entre todas las redes
- Mo entre la red 1 y 2
- Rb diferencia entre la red 1 y 3 y entre 2 y 3
- V entre la red 1 y 2 y entre la 2 y la 3
- W entre la red 2 y 3

Variable	Red (I)	Red(J)	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Ag	1	2	,834	-,0177	,0339
		3	,023	-,0442	-,0025
	2	1	,834	-,0339	,0177
		3	,030	-,0605	-,0023
Fe	1	2	,010	-10345,3562	-1083,5454
		3	,890	-1549,5120	2687,7575
	2	1	,010	1083,5454	10345,3562
		3	,005	1583,3232	10983,8239
Li	1	2	,054	-25,9923	,1558
	3	<,001	-22,2861	-6,0047	
Mn	1	2	<,001	198,0717	465,1052
		3	<,001	83,8919	315,7175
	2	1	<,001	-465,1052	-198,0717
		3	,023	-249,7528	-13,8148
Mo	1	2	,045	-,2740	-,0022
		3	,120	-,1113	,0089
	Rb	1	2	,885	-16,8282
3			<,001	-46,1568	-10,3432
2		1	,885	-29,2886	16,8282
	3	,003	-59,1388	-9,8216	
V	1	2	,006	-27,9852	-3,7591
		3	,997	-5,5964	4,8014
	2	1	,006	3,7591	27,9852
		3	,009	3,1601	27,7892
W	2	1	,389	-2,6628	,6756
	3	,022	-5,4721	-,3192	

Tabla.12-Resultados del contraste de medias de T2 de Tamhane.

C.-CONTRASTES CON LA CORTEZA CONTINENTAL SUPERIOR (C.C.S)

Se realiza una prueba de hipótesis con un nivel de significación del 5%, en la cual se contrasta la hipótesis nula $H_0: \mu = \mu_i$, siendo μ_i a la media de cada elemento en la Corteza Continental. Si el valor de la significación muestral obtenido es igual o mayor al nivel fijado ($\alpha=0.05$), se concluye que la zona tiene una concentración similar a la de la Corteza Continental y se acepta la hipótesis nula. En caso contrario, se puede concluir que la concentración media de la zona puede ser **mayor** o **menor** que la de la Corteza Continental, dependiendo de si

los extremos del intervalo de confianza para la diferencia de medias ($\mu-\mu_i$) son positivos o negativos, respectivamente. En las tablas siguientes se muestran los resultados:

GLOBAL		INTERVALO DE CONFIANZA 95%		GLOBAL		INTERVALO DE CONFIANZA 95%	
	Significación	Inferior	Superior		Significación	Inferior	Superior
Ag	,000	,0456	,0609	Pb	,000	14,6524	15,9476
Be	,000	1,3021	1,7959	Rb	,000	71,7997	85,2753
Bi	,000	,5749	,7302	S	,000	-694,6633	-648,5526
Ca	,000	-26193,7424	-25470,7462	Sb	,000	1,0739	1,3359
Cd	,000	,0244	,0818	Sn	,000	2,4602	3,4546
Cs	,000	5,8501	7,1259	Ta	,000	-1,0349	-,8859
Cu	,000	2,1326	3,9066	Th	,000	11,9056	14,4595
Fe	,000	-5772,0316	-4036,9457	Ti	,002	63,3172	290,7510
Li	,000	49,5003	55,7565	V	,001	-5,6953	-1,3814
Mn	,000	185,6886	276,5728	W	,000	2,2522	3,7234
Mo	,000	-,3163	-,2677	Y	,000	,7132	2,0663
Nb	,000	-21,4789	-20,3793	Zn	,000	27,2298	33,2606
P	,001	19,3523	74,9374	Zr	,000	-138,7705	-125,0463

Tabla 13-Contrastes a escala global de la zona de estudio.

RED		Sig.	Inf.	Sup.	RED		Sig.	Inf.	Sup.
1	Ag	,000	,0356	,0539	1	Pb	,000	13,9776	15,8282
2		,000	,0176	,0558	2		,000	12,2250	18,1039
3		,000	,0536	,0826	3		,000	14,9661	16,6749
1	Be	,000	1,3670	2,1188	1	Rb	,000	58,8108	76,8970
2		,000	,5434	1,5672	2		,000	44,9999	78,2475
3		,000	1,0583	1,8321	3		,000	84,4974	107,7104
1	Bi	,000	,5170	,6910	1	S	,000	-715,759	-671,399
2		,000	,4070	,6312	2		,000	-746,418	-664,844
3		,000	,5889	,9064	3		,000	-685,027	-586,344
1	Ca	,000	-26332,713	-25072,214	1	Sb	,000	,9541	1,2282
2		,000	-26191,463	-24353,273	2		,000	1,2021	2,2569
3		,000	-26542,467	-25739,158	3		,000	,9611	1,4443
1	Cd	,014	,0151	,1311	1	Sn	,000	1,7848	3,1573
2		,001	,0128	,0489	2		,000	2,0462	4,9275
3		,000	,0257	,0438	3		,000	2,5793	4,2370
1	Cs	,000	4,7714	6,8390	1	Ta	,000	-1,1304	-,9236
2		,000	4,9828	8,4759	2		,000	-1,1253	-,7510
3		,000	6,4094	8,1017	3		,000	-1,0120	-,7584
1	Cu	,000	1,3348	3,6425	1	Th	,000	11,4786	14,8090
2		,000	3,3384	11,3011	2		,000	9,4397	16,2051
3		,000	1,1931	3,8309	3		,000	11,0383	15,6147
1	Fe	,000	-6426,9025	-4158,3149	1	Ti	,189	-54,4163	274,9091
2		,817	-3192,2649	4035,9491	2		,056	-10,5324	779,1640
3		,000	-7182,5458	-4540,9171	3		,020	32,1699	373,4061
1	Li	,000	41,5781	49,5169	1	V	,000	-8,1287	-2,6945
2		,000	48,5208	68,4107	2		,032	,9366	19,9845
3		,000	54,3097	65,0762	3		,003	-8,3108	-1,7175
1	Mn	,000	270,6129	423,8798	1	W	,000	1,8452	2,8156
2		,693	-63,1634	94,4792	2		,041	,0592	2,6145
3		,000	90,8860	203,9974	3		,000	2,5385	5,9266
1	Mo	,000	-,3550	-,3000	1	Y	,020	,1586	1,8373
2		,001	-,2971	-,0819	2		,460	-1,2881	2,8197
3		,000	-,3174	-,2353	3		,001	,8102	3,2597
1	Nb	,000	-22,1764	-20,6665	1	Zn	,000	25,1495	35,0621
2		,000	-21,4016	-17,6484	2		,000	20,0276	36,0356
3		,000	-21,5879	-19,8241	3		,000	27,0601	34,9590
1	P	,791	-34,2897	44,9853	1	Zr	,000	-153,380	-136,440
2		,010	34,0814	240,6554	2		,000	-107,787	-61,9754
3		,000	33,1042	114,6343	3		,000	-140,474	-116,899

Tabla 14-Contrastes por redes en el área de estudio.