



UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y AGUA

CARRERA DE GEOCIENCIAS

**INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LA DISTRIBUCIÓN
GEOQUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS DE CORRIENTE: CASO DE ESTUDIO –
RÍO TENA, NAPO – ECUADOR**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:

INGENIERA EN GEOCIENCIAS

AUTOR: JENNIFER ANABELA JARA GREFA

TUTOR: PhD. OSWALDO JOSÉ GUZMÁN GUTIÉRREZ

Tena – Ecuador

2024

Carrera de Geociencias

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad

Tena, 29 de agosto de 2024

Yo, Jennifer Anabela Jara Grefa con documento de identidad 1550250193, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título “Ingeniera en Geociencias”, son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en el presente documento, son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.



Jennifer Anabela Jara Grefa

CI: 1550250193

Carrera de Geociencias

Autorización de publicación en el repositorio institucional

Tena, 29 de agosto de 2024

Yo, Jennifer Anabela Jara Grefa, con documento de identidad 1550250193, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Influencia del tamaño de partícula en la distribución geoquímica de los sedimentos de corriente: Caso de estudio – Río Tena, Napo – Ecuador”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiam para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.



Jennifer Anabela Jara Grefa

CI: 1550250193

Carrera de Geociencias

Certificado de dirección de trabajo de titulación

Tena, 29 de agosto de 2024

Certifico que el trabajo de titulación: “Influencia del tamaño de partícula en la distribución geoquímica de los sedimentos de corriente: Caso de estudio – Río Tena, Napo - Ecuador”, aprobado bajo el mecanismo de titulación de: artículo, fue realizado por: Jennifer Anabela Jara Grefa, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiám, para su entrega y defensa.



Oswaldo José Guzmán Gutiérrez

C.I: 1759458613

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida y permitirme alcanzar este logro que anhelaba desde que inicié mi postulación a esta carrera.

Quiero agradecer a mi papá Juan Jara, quién con su apoyo constante, motivación y carácter firme, me ha permitido mantener constante en esta carrera. A mi querida madre, Elizabeth Grefa, quién con su apoyo emocional, paciencia, exigencia y comprensión me han brindado ese apoyo inquebrantable e impulsarme a creer más en mí. Además, a mi hermana Gisela, quién con su apoyo emocional, paciencia, comprensión y compañía ha estado dándome ánimos durante mis momentos más difíciles de la carrera.

A mi tutor Oswaldo Guzmán, quién con su guía, motivación, paciencia y apoyo, logré desarrollar este trabajo de investigación con mucho esfuerzo. A mis profesores de la Facultad de Ciencias de la Tierra y Agua, quienes estuvieron prestos a colaborar y enseñar sobre las oportunidades académicas internacionales y lo relacionado a la carrera.

A mis compañeros de la universidad, agradecerles por su colaboración, ya que ha sido fundamental para el éxito de este trabajo.

¡Gracias a todos/as por hacer posible este logro!

TABLA DE CONTENIDO

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad	ii
Autorización de publicación en el repositorio institucional	iii
Certificado de dirección de trabajo de titulación	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN	2
2. METODOLOGÍA	3
2.1. Área de estudio	3
2.2. Muestreo	4
2.3. Preparación de muestra.....	5
2.4. Empaque de material	6
2.5. Adquisición de datos	6
2.6. Análisis composicional	7
2.7. Análisis granulométrico.....	8
3. RESULTADOS	11
3.1. Distribución del tamaño de grano	11
3.2. Geoquímica.....	13
3.2.1. Distribución geoquímica espacial en la muestra total.....	13
3.2.2. Distribución de la concentración elemental en el tamaño de partícula ..	18
3.3. Índice I.....	32
4. DISCUSIÓN	33
4.1. ¿Cuáles fracciones granulométricas reflejan mejor las características químicas de la muestra total?	33
5. CONCLUSIONES	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de detección típicos (LOD)	7
Tabla 2. Escala de tamaño de partículas de Udden (1914) y Wentworth (1922).	9
Tabla 3. Posición geográfica, propiedades fisicoquímicas y granulométricas de los sitios de muestreo.....	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación regional y local del área de estudio. A) Zona de estudio regional respecto a Ecuador. B) Ubicación local de los sitios de muestreo dentro de la microcuenca Tena.....	5
Figura 2. Diagrama triangular para la clasificación textural según tamaño de grano, utilizada para sedimentos no consolidados propuesto por (Folk, 1974).....	10
Figura 3. Diagrama triangular de (Folk, 1974), para la clasificación textural gravas, arenas y lodos (limo + arcilla), utilizada para sedimentos no consolidados tomados en los 14 sitios de muestreo.....	13
Figura 4. Distribución espacial de elementos mayoritarios. Muestras totales de 9 sitios indican un patrón químico espacial decreciente no continuo de K, mientras que Al, Fe, Ca, Mg y Ti incrementan aguas abajo del Río Tena y el Si no refleja una tendencia definida.....	15
Figura 5. Distribución espacial de elementos minoritarios. Muestras totales de nueve sitios de muestreo, indican un incremento de Ba y Rb, decreciente de Mn, P, Cr, Zr, Sr, aguas abajo del Río Tena.....	16
Figura 6. Distribución espacial de elementos traza. Muestras totales de nueve sitios de muestreo, indican un patrón creciente del Pb, decreciente de V, Zn, As y Cu, mientras que Ag y Sn no muestran un patrón diferencial	17
Figura 7. Distribución geoquímica de elementos mayoritarios por tamaño de grano. El Si y K, se maximizan en las fracciones entre 1 – 2 mm y > 2 mm. El Fe, Al, Ti, Ca y Mg se posicionan en las fracciones entre 0.125 – 0.250 mm, < 0.125 mm y < 0.063 mm	22
Figura 8. Distribución geoquímica de elementos minoritarios por tamaño de grano. El Ba exhibe una disminución de la concentración, mientras que el Mn, P, Cr, Sr y Zr, aumentan hacia las partículas de tamaño entre 0.125 – 0.250 mm, < 0.125 mm, 0.063 – 0.125 mm y < 0.063 mm	27

Figura 9. Distribución geoquímica de elementos minoritarios por tamaño de grano. El Ag, As, Cu, Pb, Sn, V y Zn, se maximizan las concentraciones en las partículas finas, entre 0.125 – 0.250 mm, < 0.125 mm, 0.063 – 0.125 mm y < 0.063 mm..... 31

Figura 10. Diagrama lineal con datos del índice I en los tamaños de grano (> 2 mm, 1 – 2 mm, 0.500 – 1 mm, 0.250 – 0.500 mm, 0.125 – 0.250 mm, < 0.125 mm, 0.063 – 0.125 mm y < 0.063 mm) 32

RESUMEN

Cada región geográfica presenta composiciones químicas únicas que influyen en la distribución geoquímica de diferentes tamaños de partícula y muestra total (muestra no fraccionada) de los sedimentos de corriente. Este estudio se realizó en la microcuenca del Río Tena, al sureste de Ecuador, para analizar la distribución de 21 elementos químicos en 8 tamaños de partícula: >2 mm, 1-2 mm, 0.500-1 mm, 0.250-0.500 mm, 0.125-0.250 mm, <0.125 mm, 0.063-0.125 mm y <0.063 mm y 9 muestras totales, mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X. El análisis se centró en identificar el tamaño de partícula que mejor representa las características químicas de la muestra total mediante el cálculo del índice I. El tamaño de partícula entre 0.250-0.500 mm refleja características químicas similares a la muestra total con un índice promedio de 2.9452. Los sedimentos varían de arenas de grano grueso a medio aguas abajo, posiblemente influenciadas por la pendiente y la velocidad de transporte del agua. La distribución geoquímica en la muestra total revela que el Si no presenta tendencia definida. El K y Ba disminuyen aguas abajo. En contraste, Al, Ca, Fe, Mg, Ti, Mn, P, Cr, V, Zn, Zr, Sr, As y Cu aumentan su concentración aguas abajo. Cuando el tamaño de grano disminuye, entonces aumenta la concentración de Fe, Al, Ti, Ca, Mg, Mn, P, Cr, Sr, Zr, Cu, Zn, V, Ag, As, Sn y Pb. En cambio, Si, K y Ba aumentan a medida que aumenta el tamaño de partícula.

Palabras clave: Sedimento de corriente, tamaño de partícula, geoquímica, muestra total.

ABSTRACT

Each geographic region has unique chemical compositions that influence the geochemical distribution of different particle sizes and total sample (unfractionated sample) of stream sediments. This study was conducted in the Tena River microbasin, southeastern Ecuador, to analyze the distribution of 21 chemical elements in 8 particle sizes: >2 mm, 1-2 mm, 0.500-1 mm, 0.250-0.500 mm, 0.125-0.250 mm, <0.125 mm, 0.063-0.125 mm and <0.063 mm and 9 total samples, using X-ray fluorescence spectrometry. The analysis aimed on identifying the particle size that best represents the chemical characteristics of the total sample by calculating the I-index. Particle size between 0.250-0.500 mm reflects similar chemical characteristics to the total sample with an average index of 2.9452. Sediments vary from coarse to medium grained sands downstream, possibly influenced by slope and water transport velocity. The geochemical distribution in the total sample reveals that Si shows no definite trend. K and Ba decrease downstream. In contrast, Al, Ca, Fe, Mg, Ti, Mn, P, Cr, V, Zn, Zr, Sr, As and Cu increase in concentration downstream. When the grain size decreases, then the concentration of Fe, Al, Ti, Ca, Mg, Mn, P, Cr, Sr, Zr, Cu, Zn, V, Ag, As, Sn and Pb increases. On the other hand, Si, K and Ba increase as the particle size increases.

Keywords: Sediment, particle size, geochemistry, total sample

Avances en Ciencias e Ingeniería

<http://avances.usfq.edu.ec>

**Influencia del tamaño de partícula en la distribución geoquímica de los sedimentos
de corriente: Caso de estudio – Río Tena, Napo – Ecuador**

Jennifer Jara ^{1*}

1. INTRODUCCIÓN

En la última década, el incremento poblacional en la Ciudad del Tena ha generado un impacto significativo en la microcuenca Río Tena, su principal fuente hídrica (Gutierrez, 2009). Esta situación ha desencadenado la contaminación de cuerpos de agua y sedimentos con elementos traza, poniendo en riesgo la vida acuática y la salud humana. En sistemas hídricos fluviales, los sedimentos de corriente o fluviales actúan como reservorios de contaminantes compuestos por partículas de gravas, arenas, limos y arcillas. Estos sedimentos fluviales se forman a partir de la meteorización física y química de las rocas preexistentes (Salminen et al., 1998). Los sedimentos fluviales son comúnmente utilizados en estudios geoquímicos por su capacidad para acumular y fijar elementos químicos nocivos en las fracciones más finas (Rodríguez, et al., 2019; Cardini, et al., 2022). Estos estudios geoquímicos permiten identificar áreas con concentraciones anómalas de ciertos elementos, lo que puede llevar a descubrir la presencia de fuentes de contaminación, depósitos minerales, impactos ambientales, entre otros. Por tanto, es importante el análisis de la distribución de elementos mayoritarios y minoritarios en los sedimentos, biota y seres vivos (Lemaire et al., 2006).

La variabilidad composicional de los sedimentos está dominada por la granulometría y no por la muestra total (Horowitz & Elrick, 1987; Zhang, Wang, & Shan, 2002; Guagliardi et al., 2013; Zhou et al., 2013; Maurice et al., 2015; Yang et al., 2022). Por esta razón, han surgido investigaciones dedicadas a brindar guías o normas que faciliten el muestreo y análisis geoquímico con sedimentos de corriente. En el Manual de campo para el Mapeo Geoquímico de FOREGS desarrollado por Salminen et al., (1998), fue establecido el tamaño de partícula menor a 0.150 mm para el análisis elemental en sedimentos de corriente de la región europea porque refleja la composición geogénica promedio de una cuenca hidrográfica. Por otro lado, el Proyecto Nacional de Cartografía Geoquímica de China iniciado en 1978, utiliza la fracción de tamaño de partícula < 0.250 mm para el mapeo geoquímico. Sin embargo, consideraron que este tamaño de partícula no cubría las características químicas en paisajes de baja montaña húmedos y semi – húmedos. Por otro lado, Ecuador cuenta con el Acuerdo Ministerial 097 – A, donde se expone los

criterios para el diseño de muestreo y concentraciones permisibles de elementos químicos en suelos y no en sedimentos fluviales. En tales situaciones, la fracción de tamaño de partícula para análisis geoquímico en sedimentos de corriente es cuestionada en cada región. Por tanto, en el presente estudio se busca identificar el tamaño de grano con las características químicas similares a la muestra total, mediante el cálculo del índice I. Analizar la distribución del tamaño de grano y distribución geoquímica en tamaño de grano y muestra total.

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

La microcuenca hidrográfica del Río Tena abarca un área aproximada de 240.92 km², situándose en el Flanco Oriental de los Andes del Ecuador y centro occidente de la Región Amazónica. El Río Tena presenta una longitud de 59.49 km, en él desembocan 4 ríos tributarios principales: Shitig, Colonso, Lopi y Pano, que nacen de las estribaciones de la Cordillera Oriental, transportando sedimentos en dirección Oeste a Este (Gutiérrez, 2009).

El material parental de estos sedimentos lo constituye un cuerpo de rocas del Jurásico Medio (162 ± 1 Ma) que pertenecen al Granito de Abitagua, un plutón alargado de aproximadamente 120 km de largo y 15 km de ancho (Litherland et al., 1978). La petrografía de este cuerpo intrusivo está dominada principalmente por dioritas, seguido de monzogranitos, granodioritas y aplita (Huataoca, 2023). Además, el análisis mineralógico revela la presencia de minerales de cuarzo, plagioclasas, feldespatos, biotita y anfíbol (Litherland et al., 1978). El análisis geoquímico de las fuentes graníticas, muestra una alta concentración de SiO₂, lo cual es característicos de plutones tipo I, según lo reportado por Litherland et al., (1978). Sin embargo, en un estudio reciente de Huataoca, (2023), evidencia el origen del granito de Abitagua, clasificándolo como granitos tipo I y S.

2.2. Muestreo

La fase inicial del diseño de muestreo consistió en la identificación de ríos tributarios que se originan en las estribaciones de la cordillera oriental, mediante la fotointerpretación de imágenes satelitales obtenidas de Google Earth. Se identificaron arroyos originados en el cuerpo intrusivo del Granito de Abitagua.

La longitud considerada para el muestreo en el Río Tena es de aproximadamente 15 km, condicionada por la desembocadura de los 4 ríos tributarios: Shitig, Colonso, Lopi y Pano. La distancia entre sitios de muestreo varió entre 100 y 1000 metros, proporcionando una visión integral de la geoquímica en esta región.

Se recolectaron 14 muestras compuestas de sedimento superficial, cada una de 2 kg. En cada sitio se estableció un muestreo sistemático integrado por 5 submuestras, establecido en un mallado de 1x1 metro, para maximizar la representatividad y homogeneidad del sedimento. Las muestras se recolectaron a una profundidad de 10 – 30 cm, por debajo del contacto sedimento – agua para evitar la influencia de eventos deposicionales recientes y contaminación superficial (Horowitz, 1991)

La topografía del terreno y dinámica del flujo de agua, modifican la morfología del Río Tena a diferentes alturas, por lo que, para la selección de los sitios de muestreo se visualizaron zonas con acumulaciones de sedimento antes y después de la confluencia del Río Tena con cada tributario, por medio de una fotointerpretación visual de imágenes satelitales de Google Earth. En la parte baja del Río Tena se identificaron acumulaciones de sedimento en zonas meándricas.

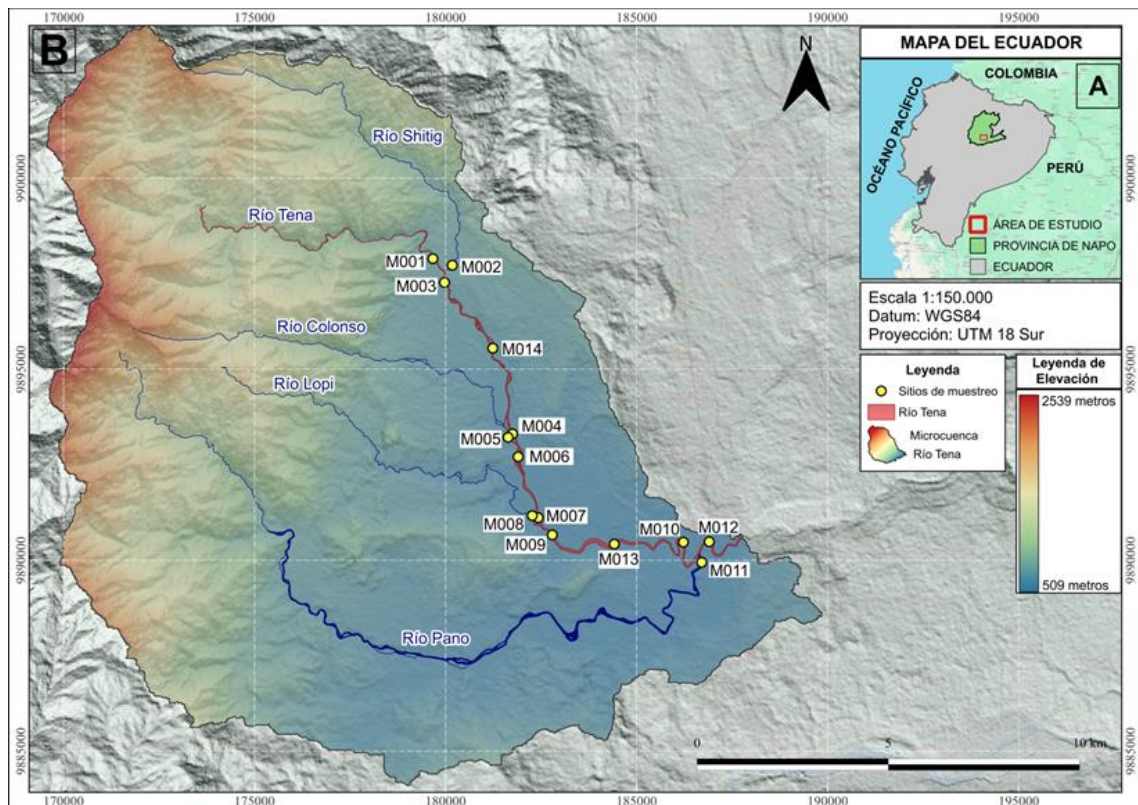


Figura 1. Ubicación regional y local del área de estudio. A) Zona de estudio regional respecto a Ecuador. B) Ubicación local de los sitios de muestreo dentro de la microcuenca Tena.

2.3. Preparación de muestra

Los análisis de sedimento se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Geociencias de la Universidad Regional Amazónica Ikiám. De cada muestra se secaron 1000 gramos a 60°C. Seguidamente, se midieron las propiedades físico – químicas: pH, por medio de la “Sonda multiparamétrica YSI” y conductividad eléctrica con el equipo “METTLER TOLEDO”.

La muestra M009 se fraccionó en 8 tamaños de partícula: (> 2 mm), (1 – 2 mm), (0.500 mm – 1 mm), (0.250 mm – 0.500 mm), (0.125 mm – 0.250 mm), (< 0.125 mm), (0.063 mm – 0.125 mm) y (< 0.063 mm), mientras que las muestras M001, M002, M003, M004, M005, M006, M007, M010, M011, M012, M013 y M014 se realizaron desde el tamaño de grano (> 2 mm) hasta (< 0.125 mm) y M008 desde (0.500 mm) hasta (< 0.063 mm), debido a que no se retuvo material granulométrico en las fracciones faltantes. Se aplicó el procedimiento recomendado por la (IAEA, 1997), donde indican que después de

tamizar cada fracción granulométrica se debe pulverizar el material retenido con un mortero de ágata hasta obtener un polvo fino. Por lo que se consideró partículas finas < 0.125 mm para mantener una homogeneidad en las muestras.

2.4. Empaque de material

Las capsulas para FRX tienen capacidad de almacenar 10 gramos de sedimento pulverizado. Sin embargo, se requiere 20 gramos de material adicional de la misma muestra para compensar posibles pérdidas o repetir el proceso si fuese necesario.

Para cada tamaño de grano se empacaron 10 gramos de material pulverizado en cápsulas para FRX. Por otro lado, las muestras totales se generaron utilizando proporciones calculadas de material de cada tamaño de grano. Para ello, se calculó el porcentaje retenido de material en cada fracción, mediante una regla de 3, lo que permitió determinar la cantidad necesaria de cada tamaño de grano para alcanzar los 20 gramos requeridos para la muestra total.

2.5. Adquisición de datos

El análisis composicional se realizó a 9 muestras totales con sus respectivas fracciones granulométricas, las mismas que fueron analizadas por la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX) con el equipo TITAN Bruker XRF. La precisión se estableció en términos de repetitividad, realizando 3 mediciones de 60 segundos, para obtener una estimación y reducción del efecto de la variabilidad de los datos analíticos dentro de una muestra individual.

Cada medición proporciona información de la composición química en cada muestra, llegando a detectar 21 elementos químicos: Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr, Ag, Sn, Ba y P. Sin embargo, Co, Cd, Hg, Ni, S, Sb, Se y Tl, se encontraron por debajo del límite de detección tabla 1, lo que implica que la concentración de esos elementos en la muestra es tan baja que no puede ser detectada de manera fiable. Para

validar las mediciones se debió analizar que el error instrumental no supere a la concentración del elemento para considerar al elemento químico.

Tabla 1. Límites de detección típicos (LOD)

Elemento	Límite de detección (ppm)
Co	5
Cd	15
Hg	10
Ni	4
Ag	15
S	10
Sb	25
Se	5
Tl	10
Rb	4

2.6. Análisis composicional

Para identificar el tamaño de partícula que representa mejor las características químicas de la muestra total, se propuso un índice que relacione la concentración elemental en cada tamaño de grano con la concentración elemental de la muestra total. Este índice, denotado como I , se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{Ce_{(FG)}}{Ce_{(MT)}}$$

Donde:

- $Ce_{(FG)}$ es la concentración del elemento químico en un tamaño de grano específico.
- $Ce_{(MT)}$ es la concentración del elemento químico en la muestra total

Este índice proporciona una medida relativa de la distribución del elemento químico según el tamaño de grano en la muestra. Un valor $I > 1$, indica que la concentración del elemento en ese tamaño de grano es proporcionalmente más alta en relación con la

concentración total de la muestra, mientras que $I < 1$, sugiere una menor proporción de ese elemento en ese tamaño de grano específico en comparación con la muestra total. Este análisis anticipa posibles sesgos que podrían surgir debido a las variaciones naturales en la composición química de cada tamaño de grano, por ello, se calcula la diferencia absoluta entre el valor del índice I y 1. Esta diferencia indica la proximidad del elemento químico en cada tamaño de grano, respecto a su concentración en la muestra total. La suma de estas diferencias absolutas en cada elemento químico, permite una evaluación integral de las características químicas en cada fracción granulométrica. Los valores obtenidos de la suma elemental en cada tamaño de grano, se agrupan y promedian por igual tamaño de grano. De esta manera, se espera que estos resultados se aproximen a cero, lo que indica que, el tamaño de partícula con el valor más cercano a cero es el que presenta características químicas similares a la muestra total.

2.7. Análisis granulométrico

La clasificación del tamaño de grano se llevó a cabo en 14 sitios de muestreo, utilizando la escala de tamaños propuesta por Udden (1914) y Wentworth (1922), la cual define y nombra depósitos de clastos terrígenos en unidades milimétricas (mm) como se muestra en la **tabla 2**.

Tabla 2. Escala de tamaño de partículas de Udden (1914) y Wentworh (1922).

Unidades mm	Término descriptivo	
256	Cantos rodados	
128	Guijarros grandes	
64		
32		
16	Grava Conglomerado	
8	Guijarros	
4	Gránulos	
2		
1	Arena muy gruesa	
0.500	Arena gruesa	
0.250	Arena media	Arena Arenisca
0.125	Arena fina	
0.063	Arena muy fina	
0.031	Limo grueso	
0.0156	Limo medio	
0.0078	Limo fino	Limo Limolitas
0.0039	Limo muy fino	
	Arcilla	

El análisis textural de las muestras de sedimento se realizó por medio del diagrama ternario, a partir del porcentaje retenido en gravas, arenas y lodos (limos + arcillas) y la nomenclatura para sedimentos no consolidados propuesta por Folk, (1974) figura 2.

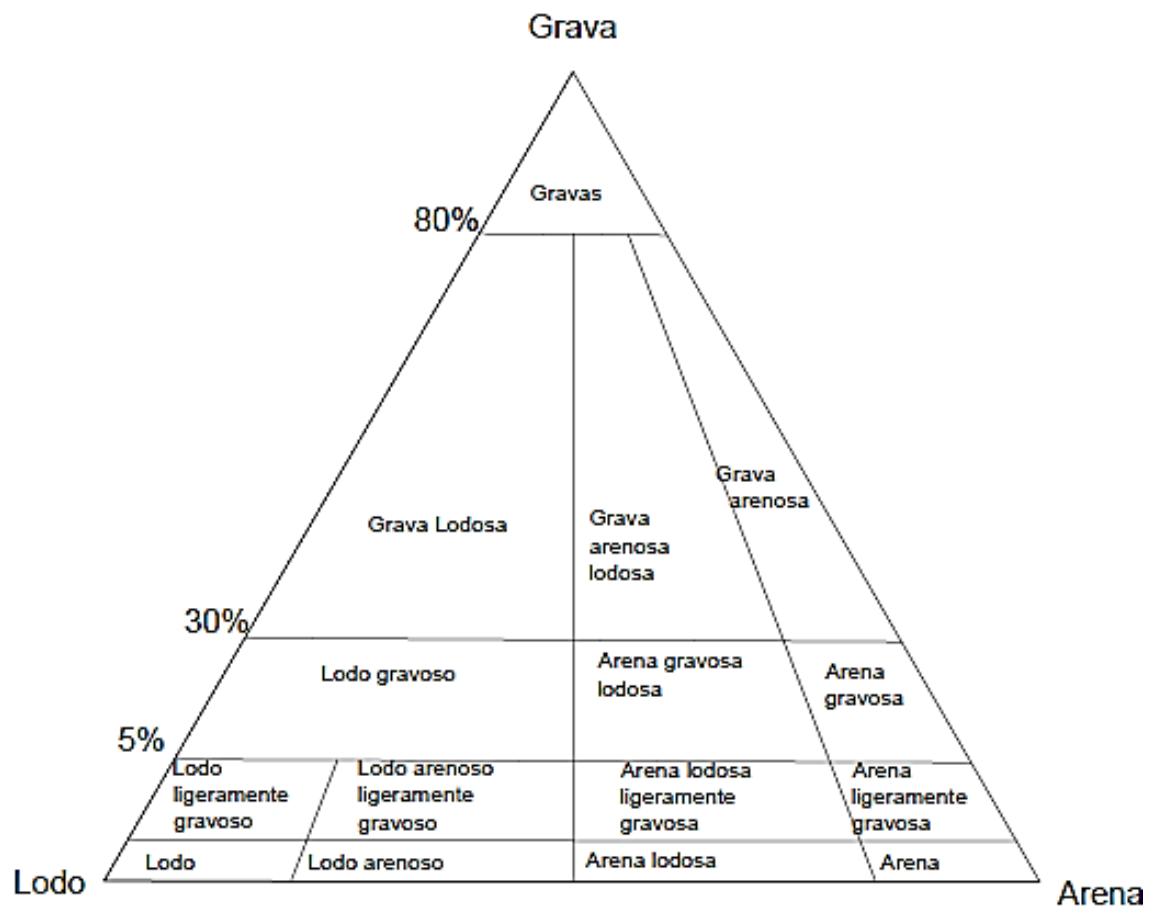


Figura 2. Diagrama triangular para la clasificación textural según tamaño de grano, utilizada para sedimentos no consolidados propuesto por (Folk, 1974).

3. RESULTADOS

3.1. Distribución del tamaño de grano

Los resultados del análisis del tamaño de grano y textural de las 14 muestras de sedimento de corriente estudiadas se presentan en tabla 3. Los resultados indican que el grupo de las arenas dominan con un promedio del 87% sobre las gravas (6%) y limo + arcilla (6%). La distribución del tamaño de grano revela que la muestra M001, M002, M003 y M011 presentan dominio de arenas de grano grueso. La muestra M004, M005, M006, M007, M009, M010, M012, M013 y M014 exhiben una mayor deposición de arenas de grano medio. Solamente la muestra M008, perteneciente al Río Lopi revela una deposición del 52% de arena de grano fino.

El análisis textural de los sedimentos se detalla en el diagrama triangular de Folk, (1974) figura 3. Los sedimentos de la muestra M001, M002, M003 se clasifican como arenas de grano grueso gravosa. La muestra M004, M010 y M014 se definen como arenas de grano medio ligeramente gravosa. La muestra M005 y M009 presentan tendencia hacia las arenas de grano medio lodosa ligeramente gravosa. La muestra M006 se clasifica como arena de grano medio. La clasificación del tamaño de grano en M007, M012 y M013 es arena de grano medio gravosa. La muestra M008 se denomina como arena de grano fino lodosa. La muestra M011 se denomina como arena de grano grueso ligeramente gravosa.

Tabla 3. Posición geográfica, propiedades fisicoquímicas y granulométricas de los sitios de muestreo.

Muestra	Coordenadas		pH	Conductividad eléctrica	Altura (msnm)	Grava%	Arena muy gruesa%	Arena gruesa%	Arena media%	Arena fina%	Limos + Arcilla%
	UTM										
	Latitud	Longitud									
M001	179667	9897896	5.95	14.2	717	8%	17%	32%	27%	11%	5%
M002	180175	180175	5.84	20.18	708	23%	25%	26%	18%	7%	2%
M003	179971	9897272	5.84	21.76	692	19%	19%	27%	23%	8%	3%
M004	181751	9893308	5.93	12.75	562	2%	9%	34%	41%	12%	2%
M005	181636	9893217	5.7	13.89	562	3%	4%	13%	34%	32%	14%
M006	181899	9892708	6.21	53	544	1%	5%	29%	43%	17%	6%
M007	182424	9891113	6.55	20	520	5%	12%	31%	34%	14%	4%
M008	182267	9891168	6.16	24	532	0%	0%	1%	19%	52%	28%
M009	182793	9890664	6.55	22	523	4%	5%	20%	37%	25%	9%
M010	186223	9890473	6.89	19.72	502	0%	2%	22%	60%	14%	2%
M011	186701	9889945	6.82	20.76	509	3%	10%	44%	40%	4%	1%
M012	186900	9890484	6.85	22.3	498	6%	11%	37%	39%	6%	1%
M013	184415	9890422	6.78	14.06	506	10%	11%	25%	36%	13%	5%
M014	181235	9895552	6.7	16.1	607	4%	7%	27%	38%	16%	8%

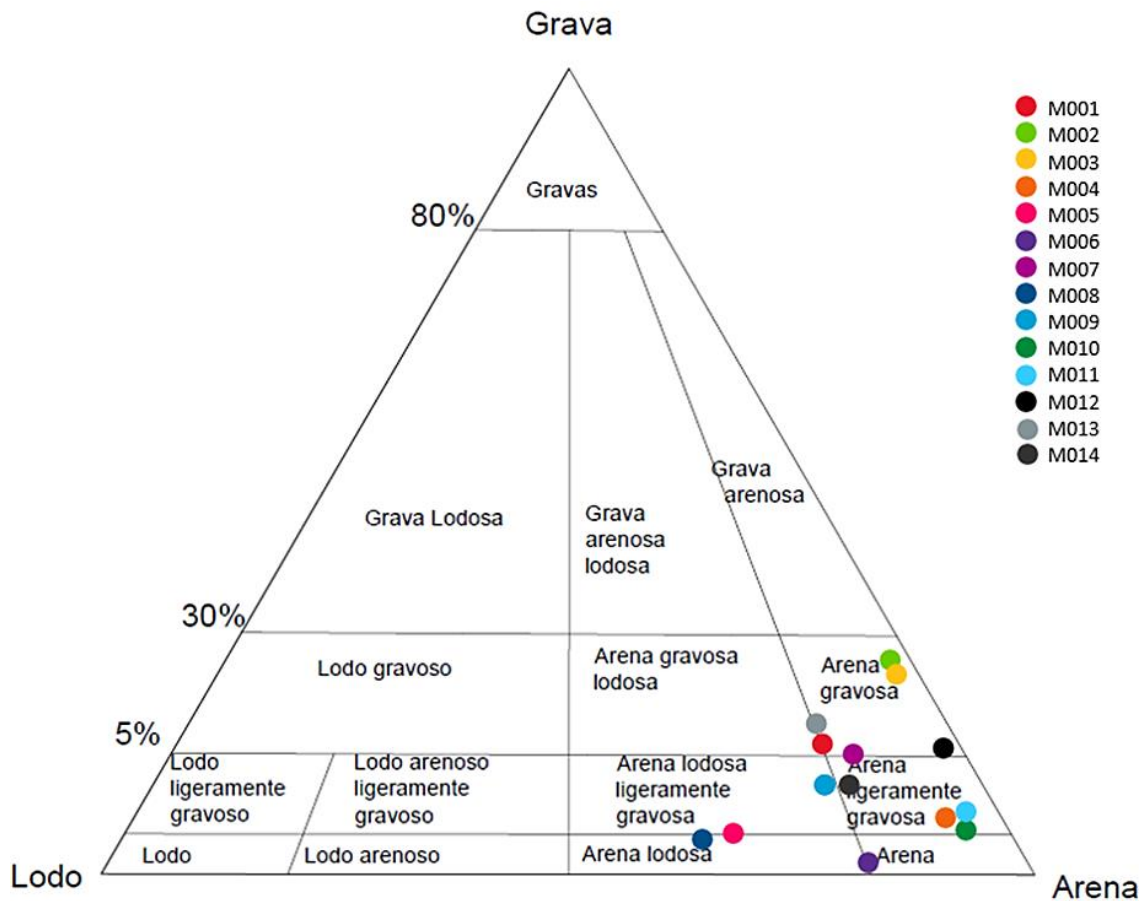


Figura 3. Diagrama triangular de (Folk, 1974), para la clasificación textural gravas, arenas y lodos (limo + arcilla), utilizada para sedimentos no consolidados tomados en los 14 sitios de muestreo.

3.2. Geoquímica

El análisis de distribución geoquímica se dividió en dos grupos: elementos mayoritarios y minoritarios.

3.2.1. Distribución geoquímica espacial en la muestra total

La distribución de los 7 elementos mayoritarios: Si, Al, Ca, Fe, Mg, K y Ti, analizados en las muestras de la zona de estudio son reportadas en la figura 4. El Si es el elemento predominante en todas las muestras totales analizadas con un promedio de 337210 ppm, aunque no presenta un aumento o disminución definido aguas abajo del Río Tena. La muestra M007 del Río Tena acumula la mayor cantidad de Si con 357126 ppm. El K

refleja un descenso no continuo de la concentración aguas abajo. La muestra M002 del Río Shitig concentra la máxima concentración de K con un valor de 36802 ppm. El Al, Fe, Ca, Mg y Ti reflejan un aumento de la concentración no continuo aguas abajo. El Al se posiciona como el segundo elemento con mayor concentración en las muestras con un promedio de 78086 ppm. La muestra M008 del Río Lopi, presenta una concentración alta de 88890 ppm de Al, 8533 ppm de Mg y 4093 ppm de Ti. La muestra M009 del Río Tena exhibe niveles de Ca, con una concentración de 15889 ppm y Fe con 51019 ppm.

La distribución de los 14 elementos minoritarios: Ag, As, P, Cr, Cu, Pb, Rb, Sn, Sr, V, Zn, Zr, Ba y Mn, analizados en 9 muestras totales son reportadas en la figura 5 y figura 6. La tendencia composicional del Ba exhibe un patrón similar a Si y K. En el caso de Mn, P, Cr, V, Zn, Zr, Sr, As y Cu, se observa un aumento de la concentración, aguas abajo del Río Tena. Las muestras M008 y M009, presentan las más altas concentraciones de Mn entre los 844 ppm y 857 ppm. El Río Shitig es el tributario con menos aportación de P, presentado una concentración de 121 ppm, a diferencia de la muestra M001 que presentó una alta concentración de P de 389 ppm. Las concentraciones de Cr, V, As, Cu, Pb, Sn y Zn, se encuentran bajo los 100 ppm, en comparación con otros elementos. Las altas concentraciones de V, As, Cu y Zn están asociadas a los sedimentos del Río Lopi, mientras que de Cr a M009. La alta concentración de Zr se asocia a la muestra M009 con 275 ppm y de Sr a la muestra M005 del Río Colonso. La variación composicional de la Ag, Pb, Rb y Sn no muestran un patrón químico definido a lo largo del Río Tena.

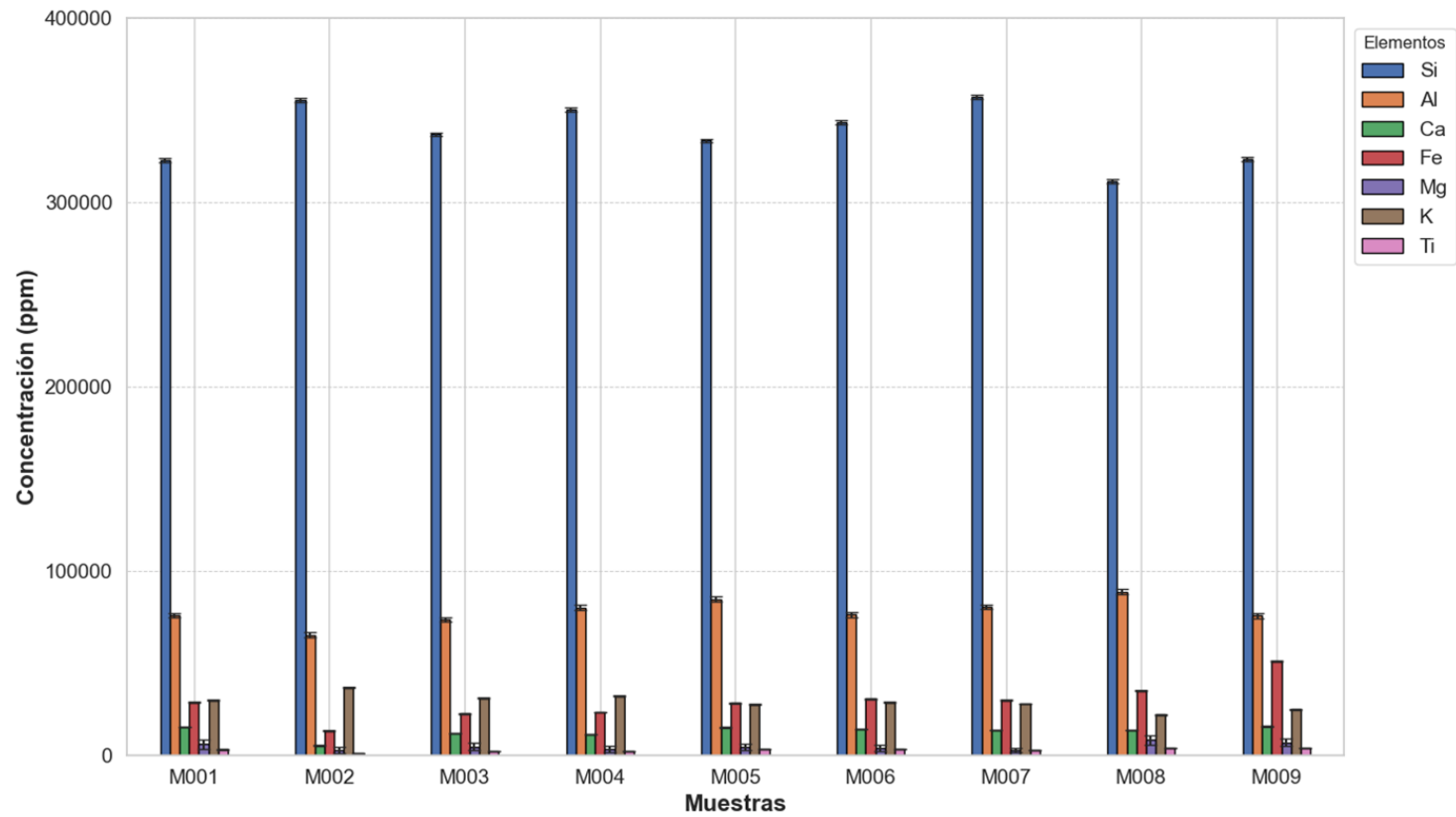


Figura 4. Distribución espacial de elementos mayoritarios. Muestras totales de 9 sitios indican un patrón químico espacial decreciente no continuo de K, mientras que Al, Fe, Ca, Mg y Ti incrementan aguas abajo del Río Tena y el Si no refleja una tendencia definida.

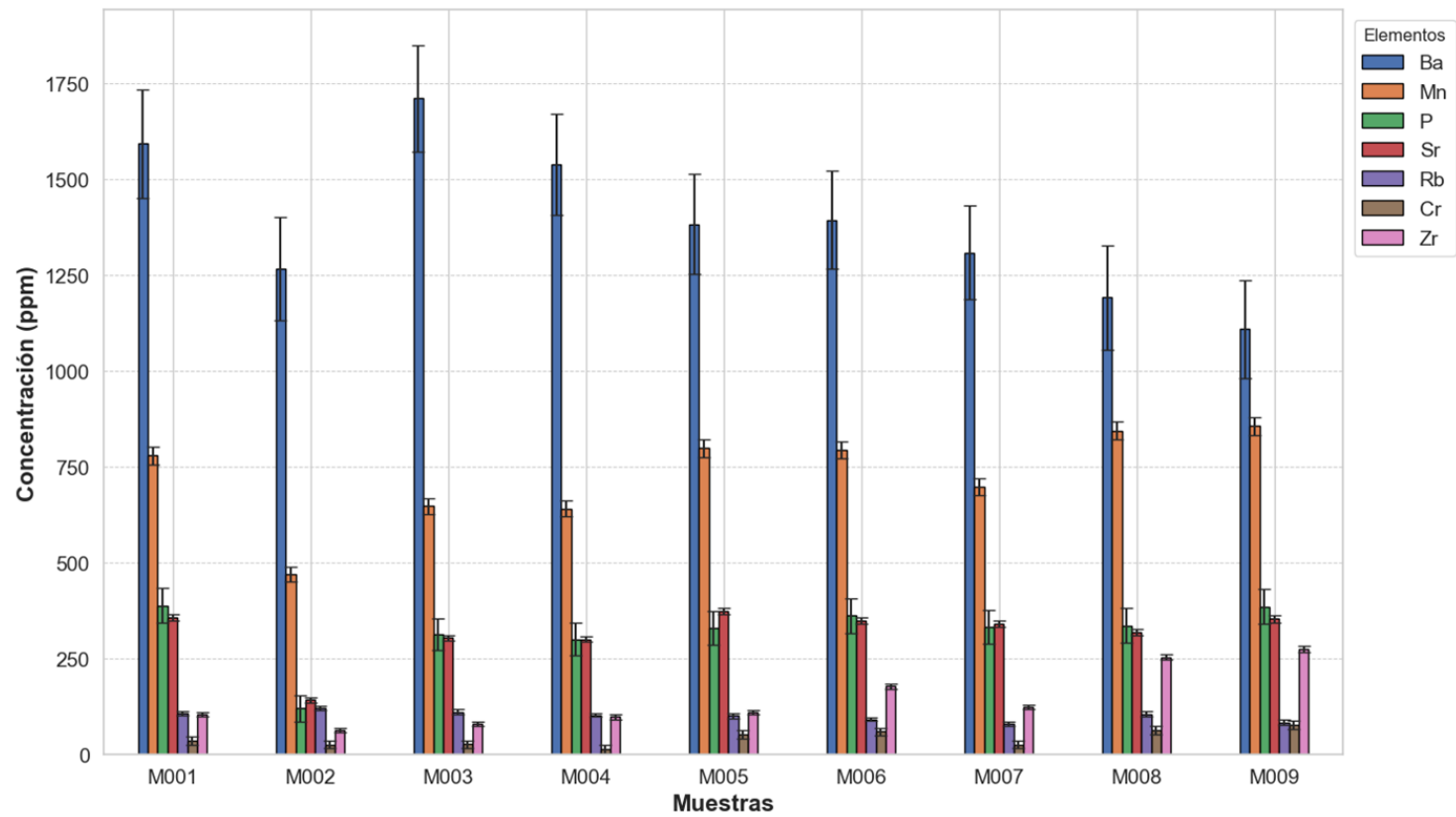


Figura 5. Distribución espacial de elementos minoritarios. Muestras totales de nueve sitios de muestreo, indican un incremento de Ba y Rb, decreciente de Mn, P, Cr, Zr, Sr, aguas abajo del Río Tena.

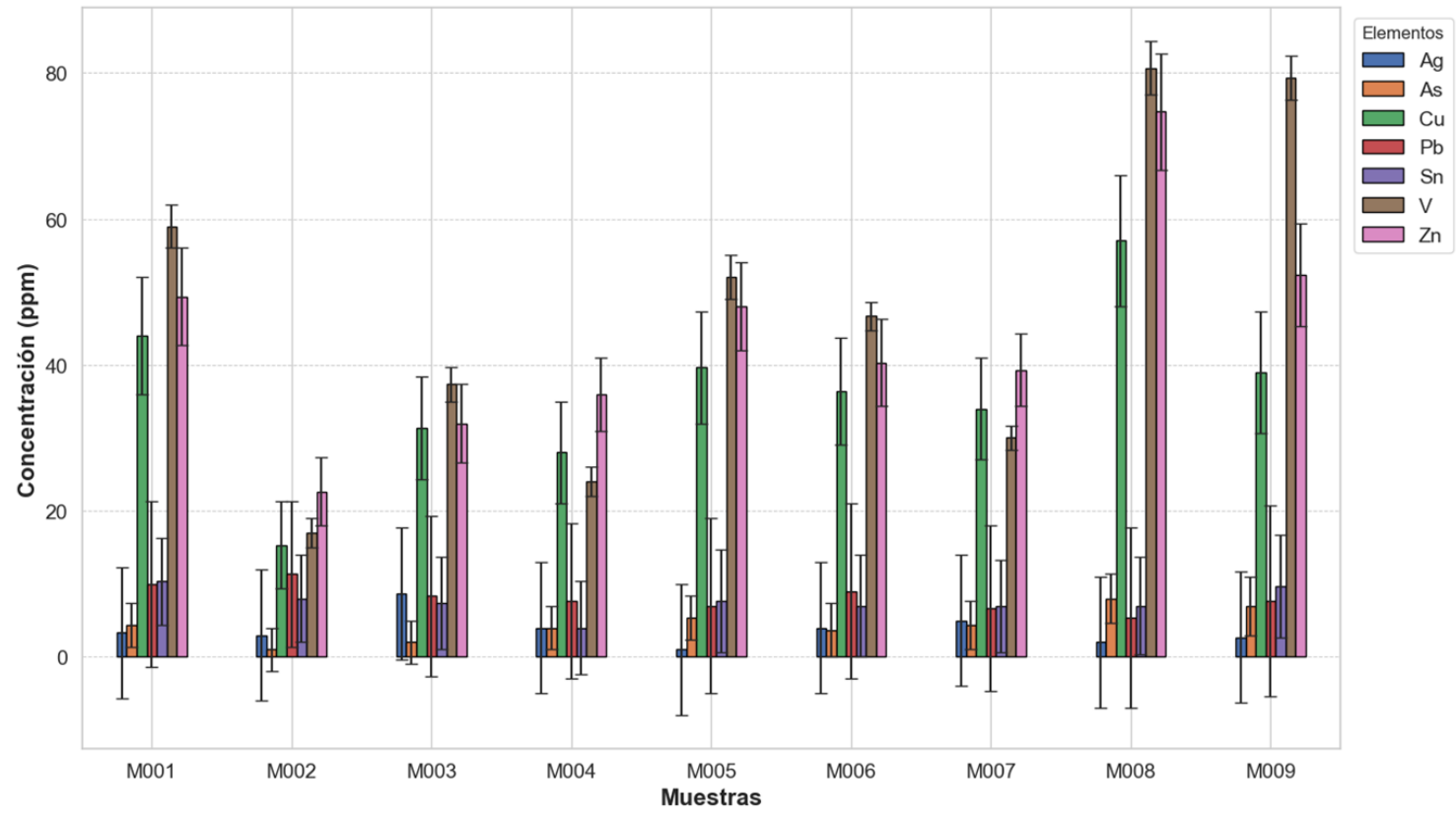
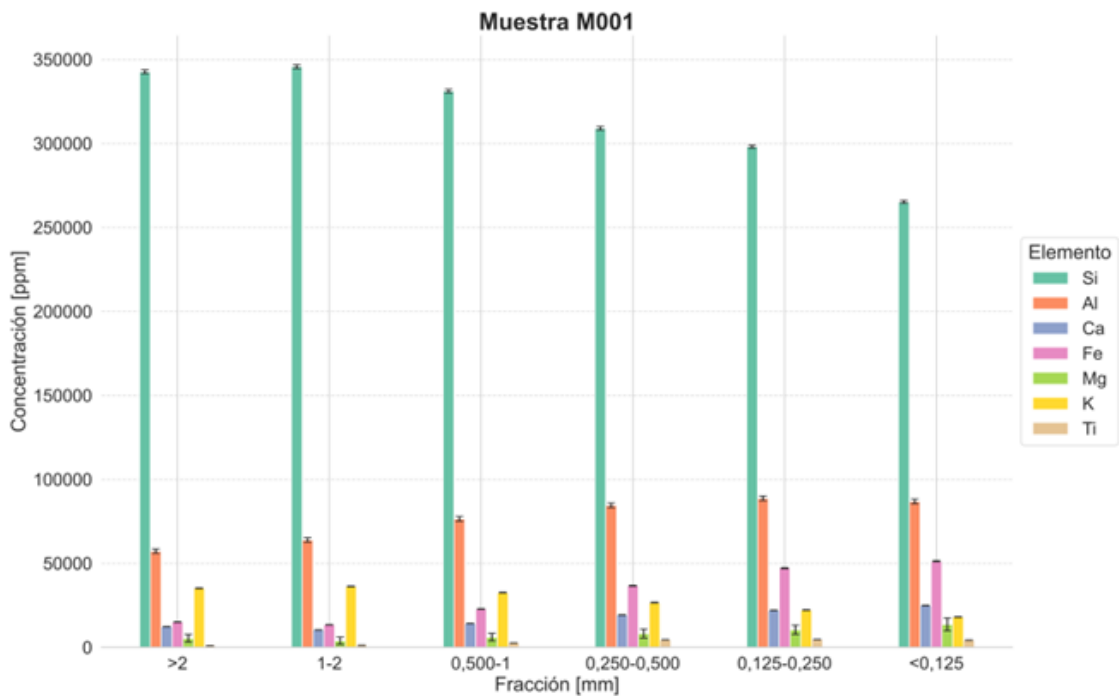


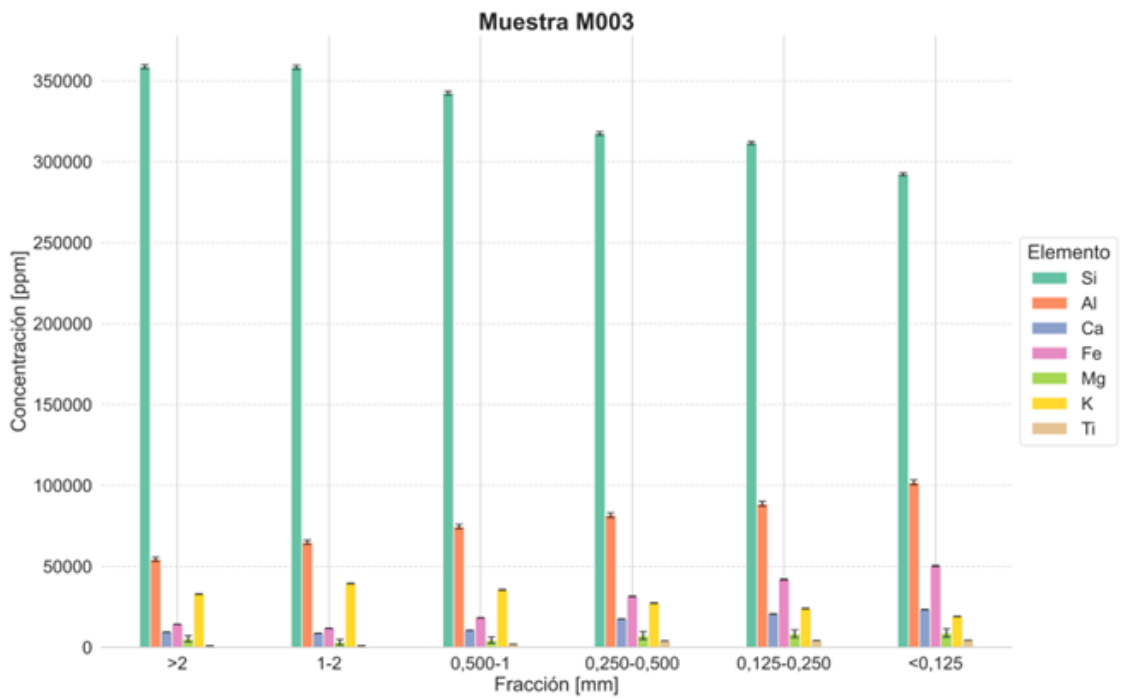
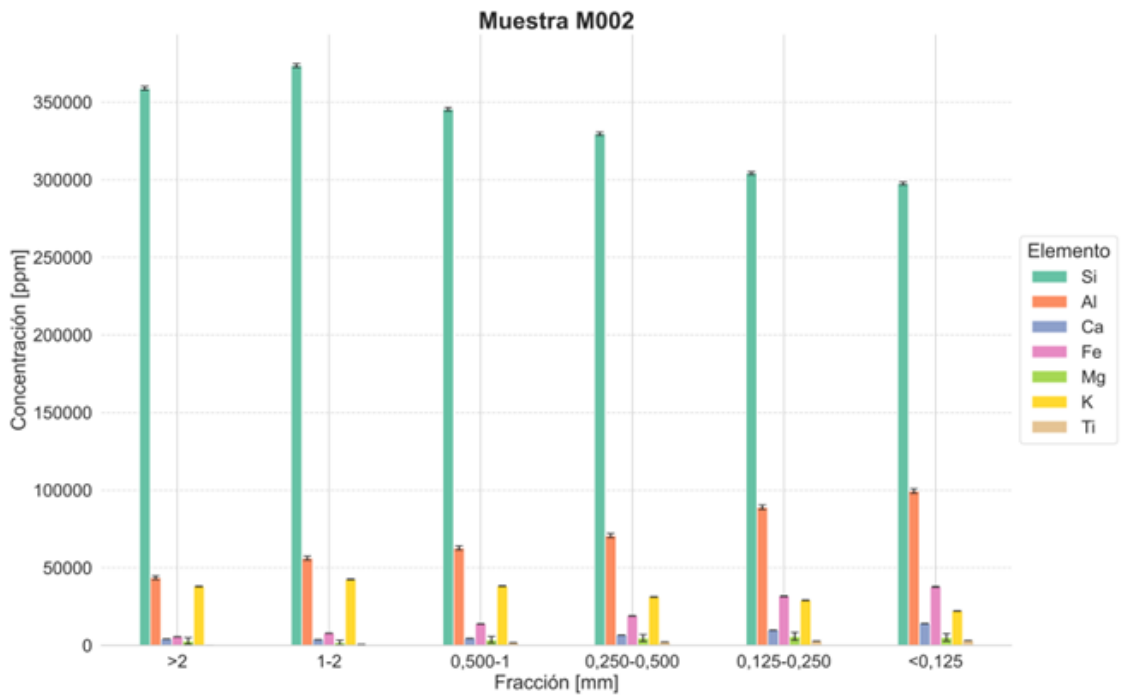
Figura 6. Distribución espacial de elementos traza. Muestras totales de nueve sitios de muestreo, indican un patrón creciente del Pb, decreciente de V, Zn, As y Cu, mientras que Ag y Sn no muestran un patrón diferencial.

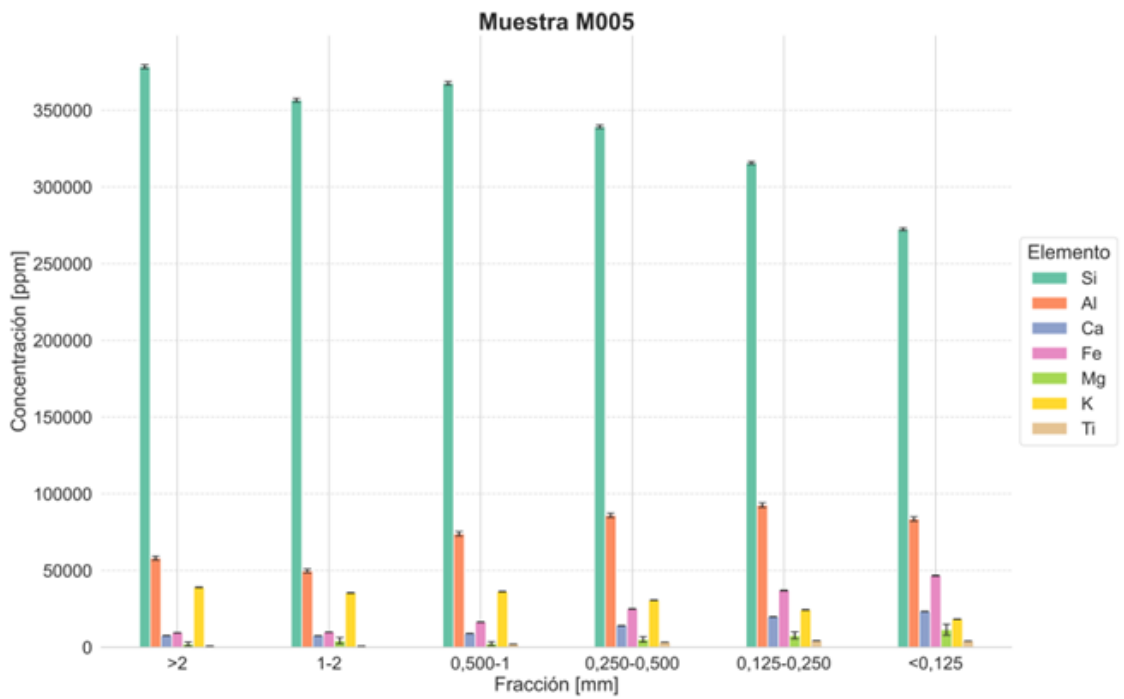
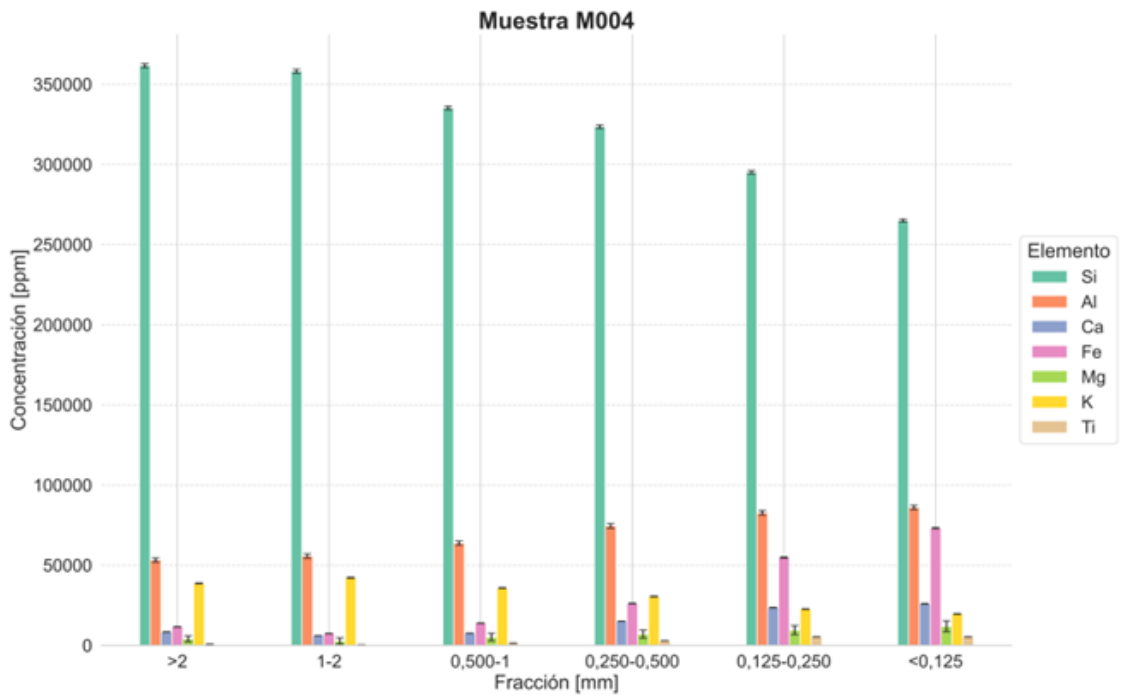
3.2.2. Distribución de la concentración elemental en el tamaño de partícula

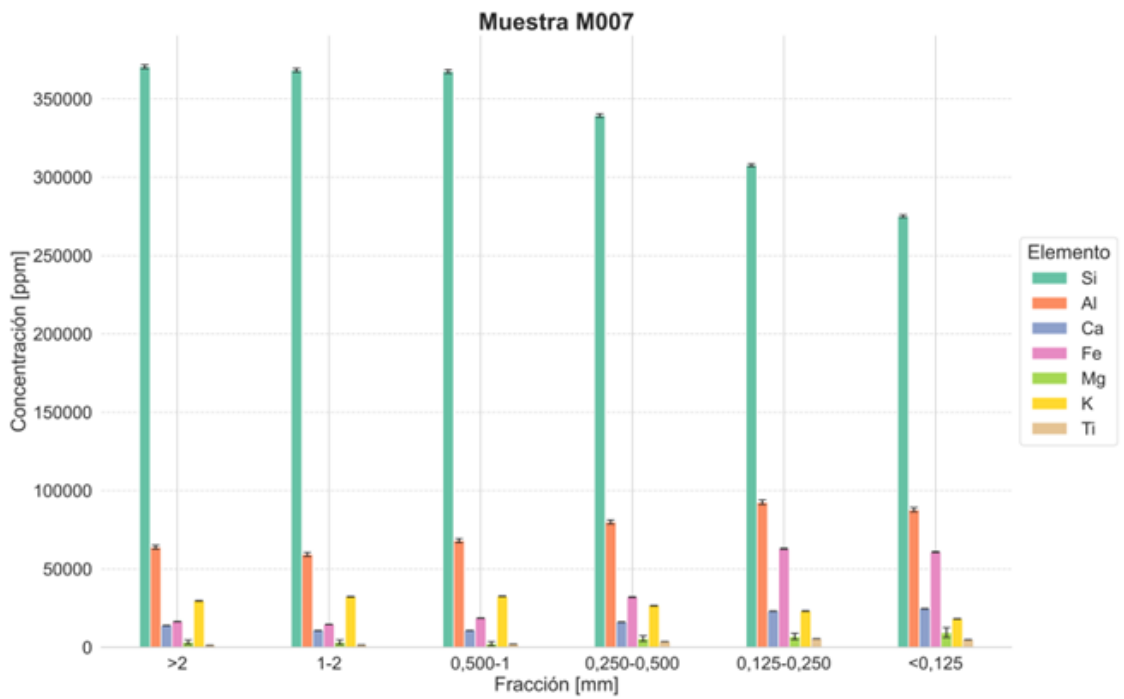
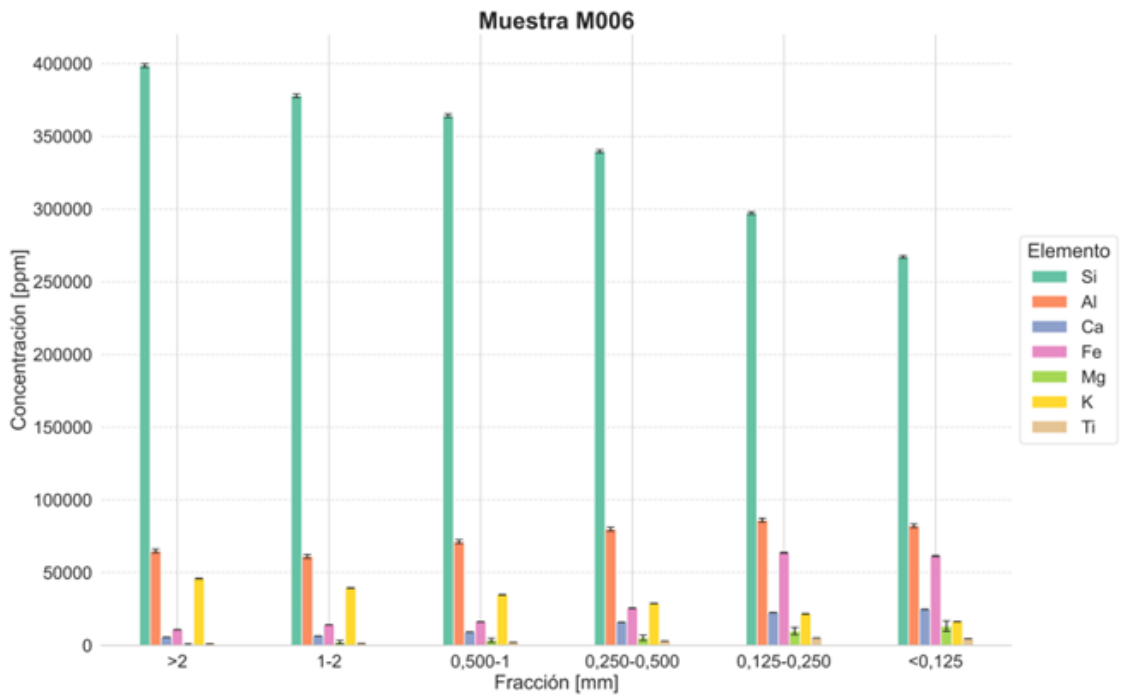
La distribución de los 7 elementos mayoritarios: Si, Al, Ca, Fe, Mg, K y Ti, analizados en las fracciones de tamaño de grano de cada muestra de la zona de estudio son reportadas en la **figura 7**. Se observa que Si y K disminuyen su concentración a medida que se reduce el tamaño de las partículas. A diferencia de Fe, Al, Ti, Ca y Mg se maximizan hacia las fracciones más finas.

La distribución de los 14 elementos minoritarios: Ag, As, P, Cr, Cu, Pb, Rb, Sn, Sr, V, Zn, Zr, Ba y Mn, analizados en las fracciones de tamaño de grano de cada muestra de la zona de estudio son reportadas en la **figura 8** y **figura 9**. La tendencia del Ba, revela una disminución de la concentración, a medida que disminuye el tamaño de grano. Por otro lado, la tendencia del Mn, P, Cr, Sr, Zr, Cu, Zn, V, Ag, As, Sn y Pb exhiben un aumento de la concentración, a medida que disminuye el tamaño de grano. En contraste, el Rb no presenta una tendencia marcada.









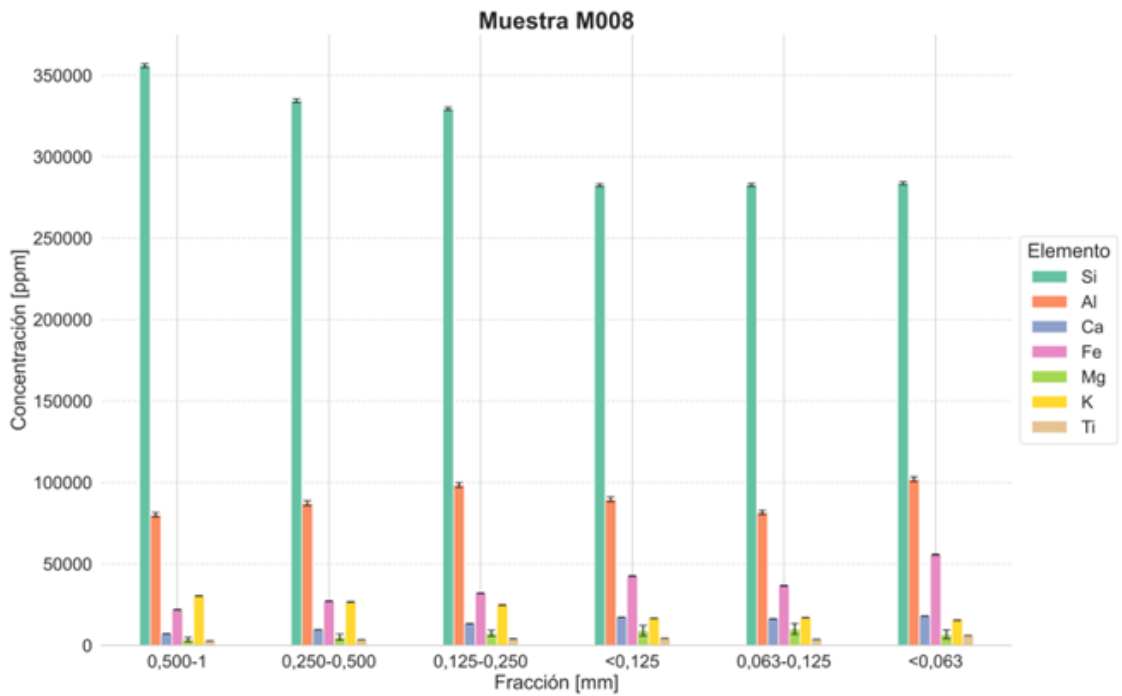
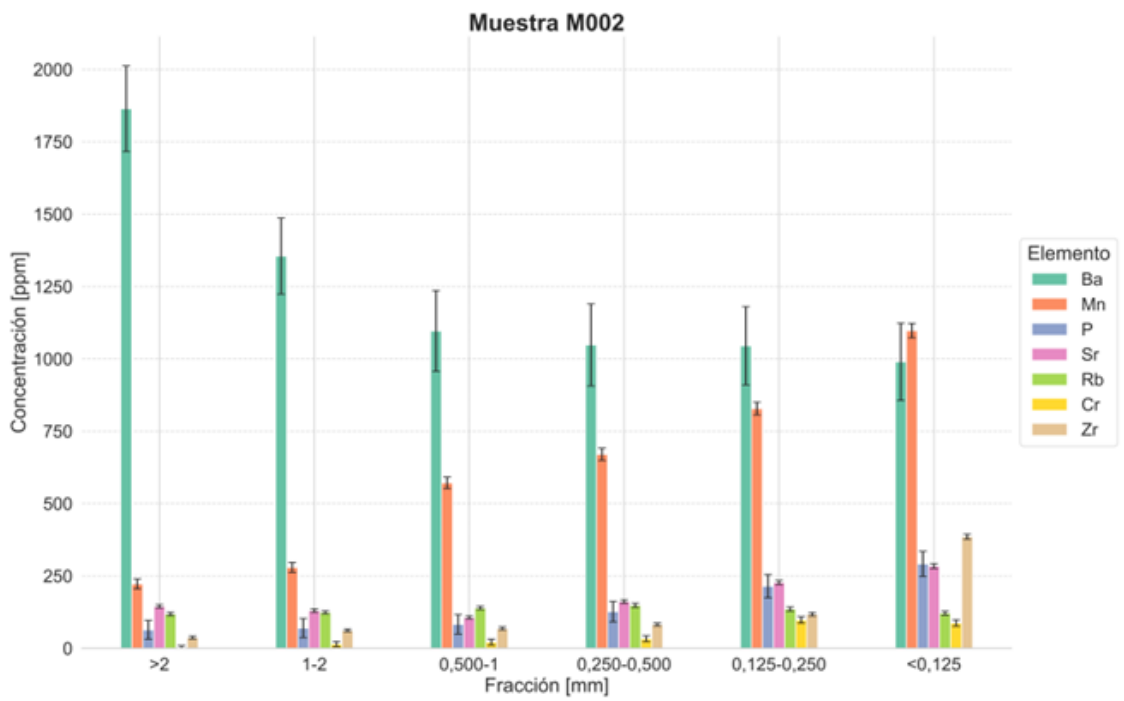
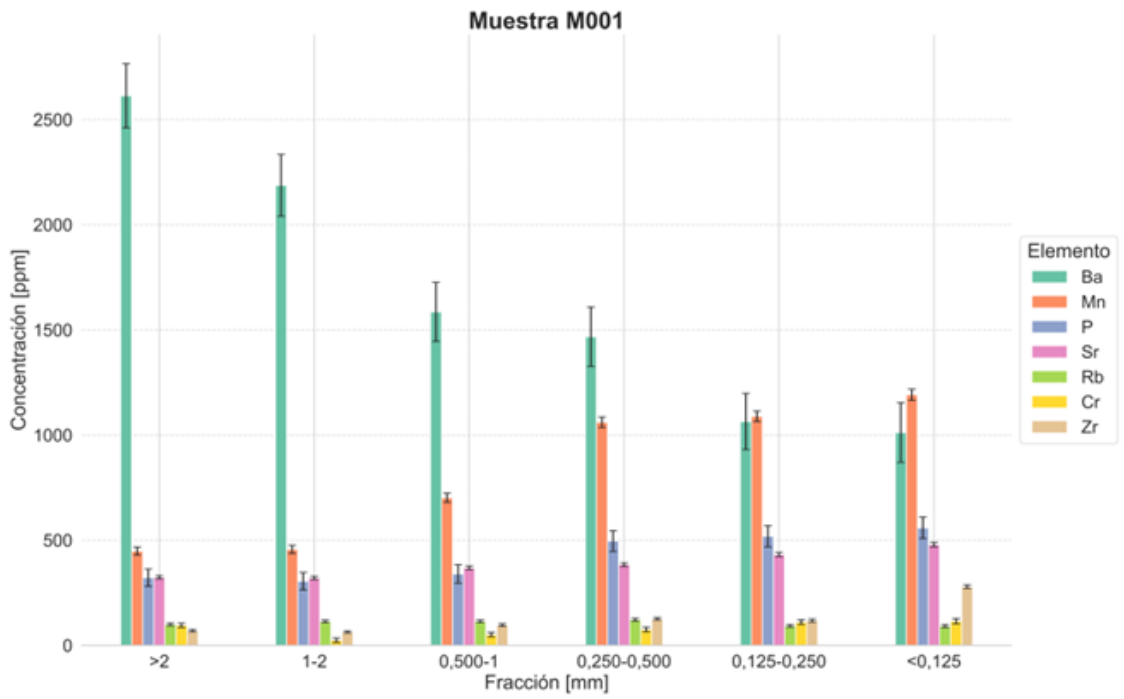
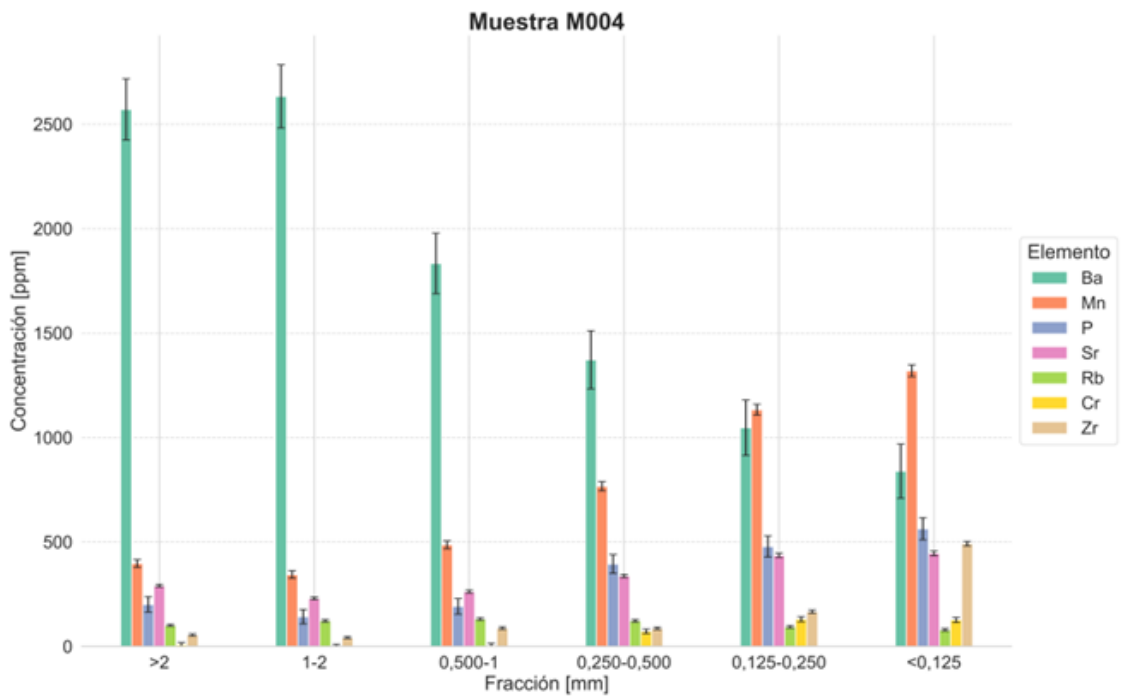
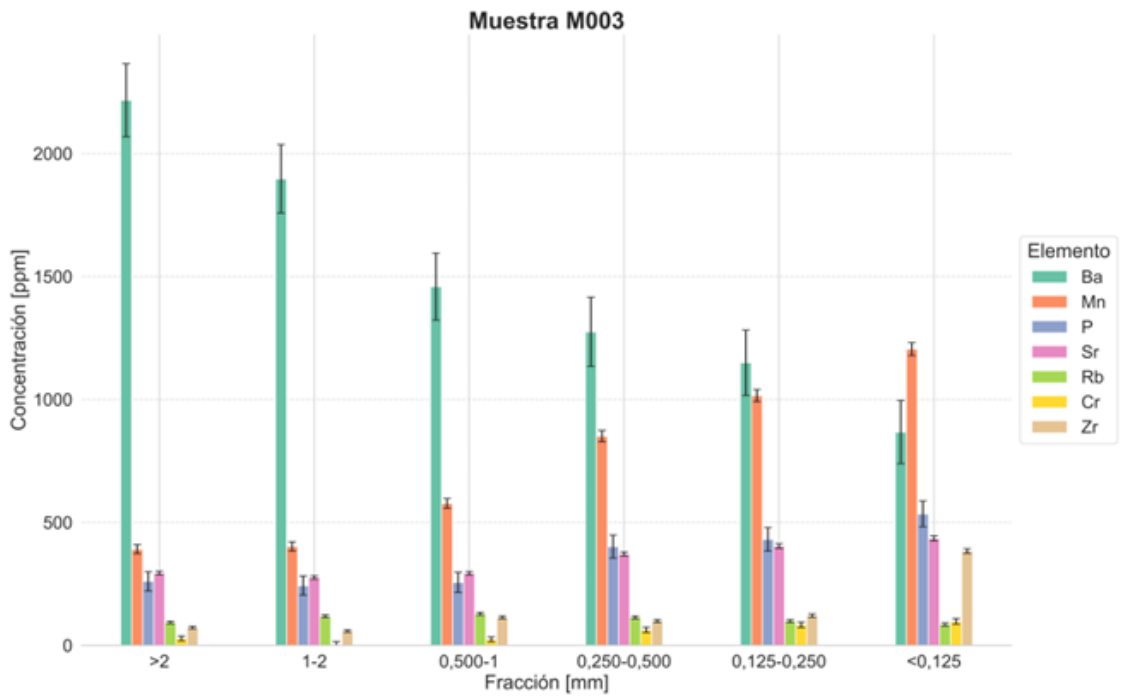
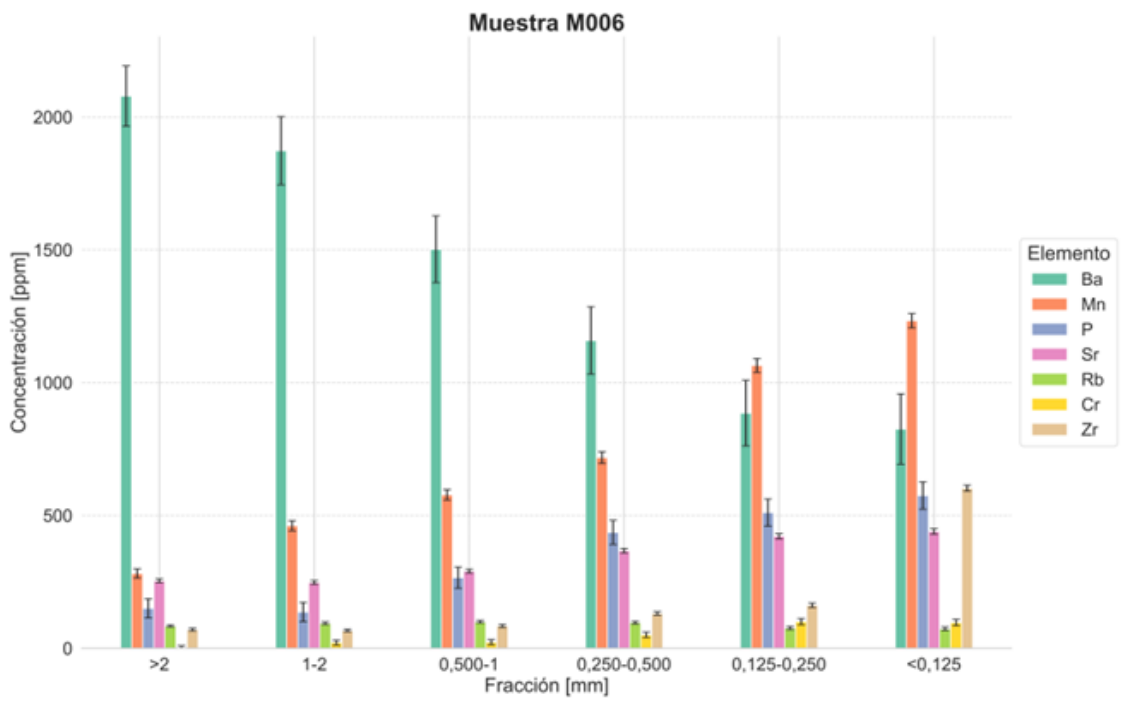
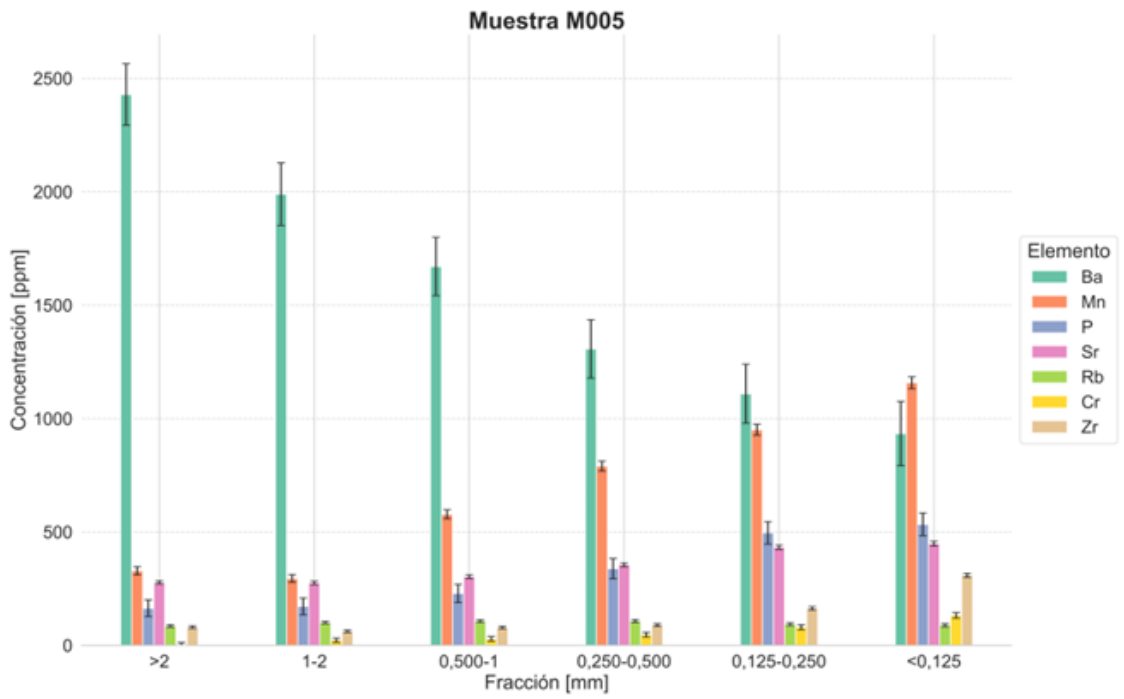
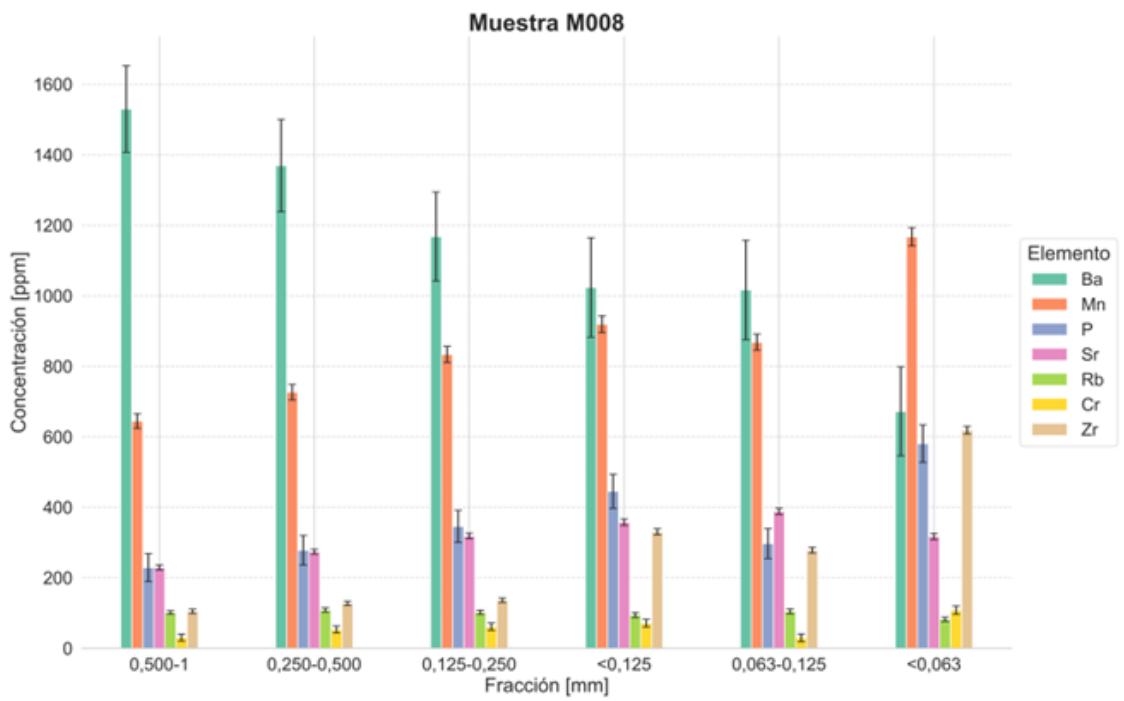
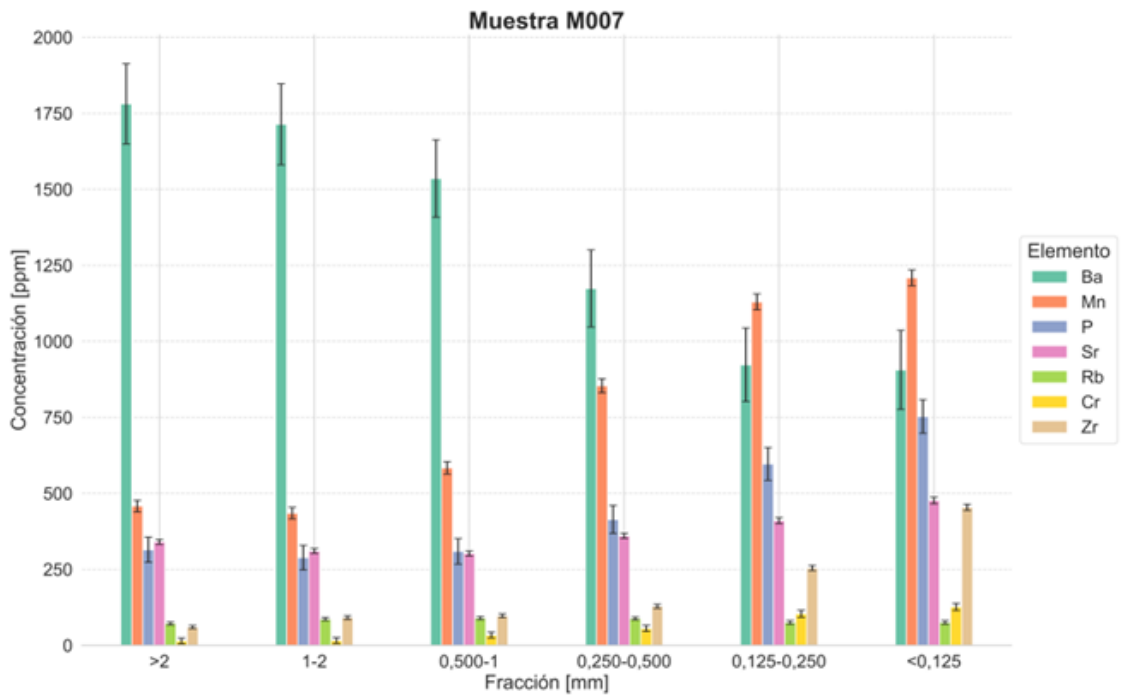


Figura 7. Distribución geoquímica de elementos mayoritarios por tamaño de grano. El Si y K, se maximizan en las fracciones entre 1 – 2 mm y > 2 mm. El Fe, Al, Ti, Ca y Mg se posicionan en las fracciones entre 0.125 – 0.250 mm, < 0.125 mm y < 0.063 mm.









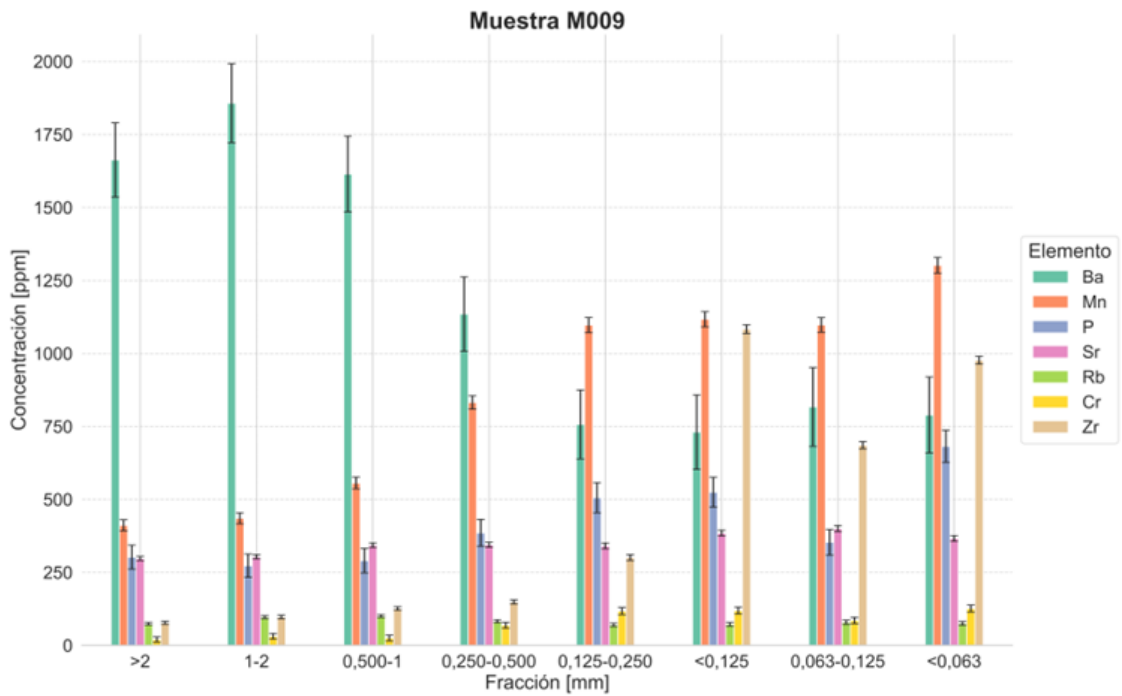
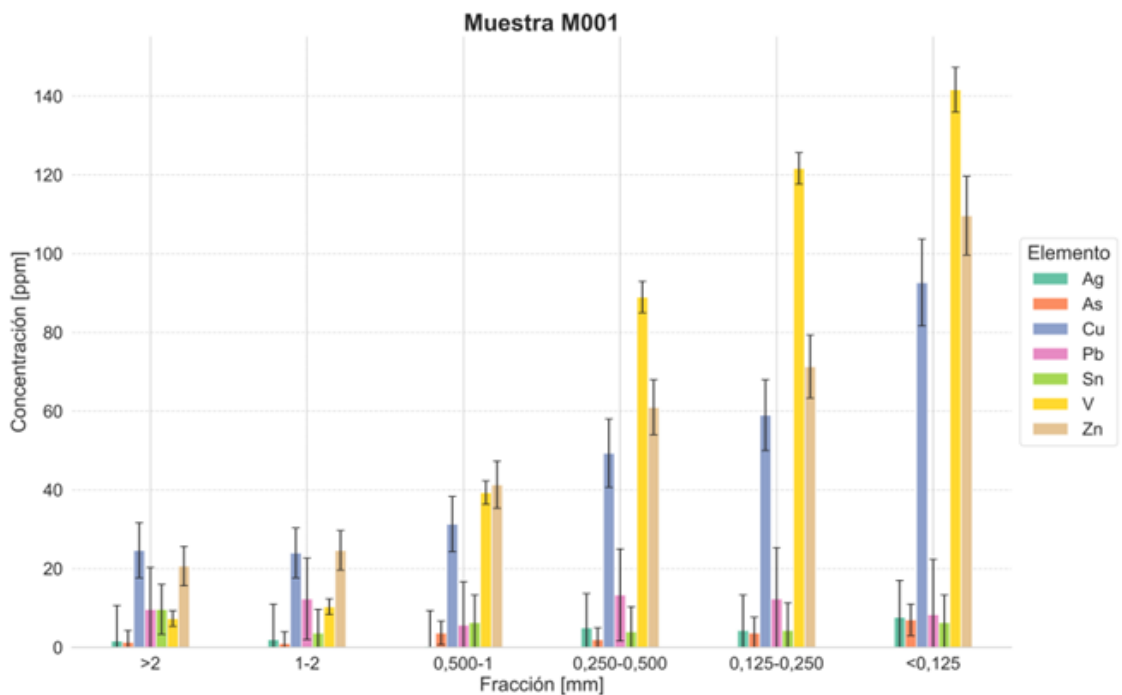
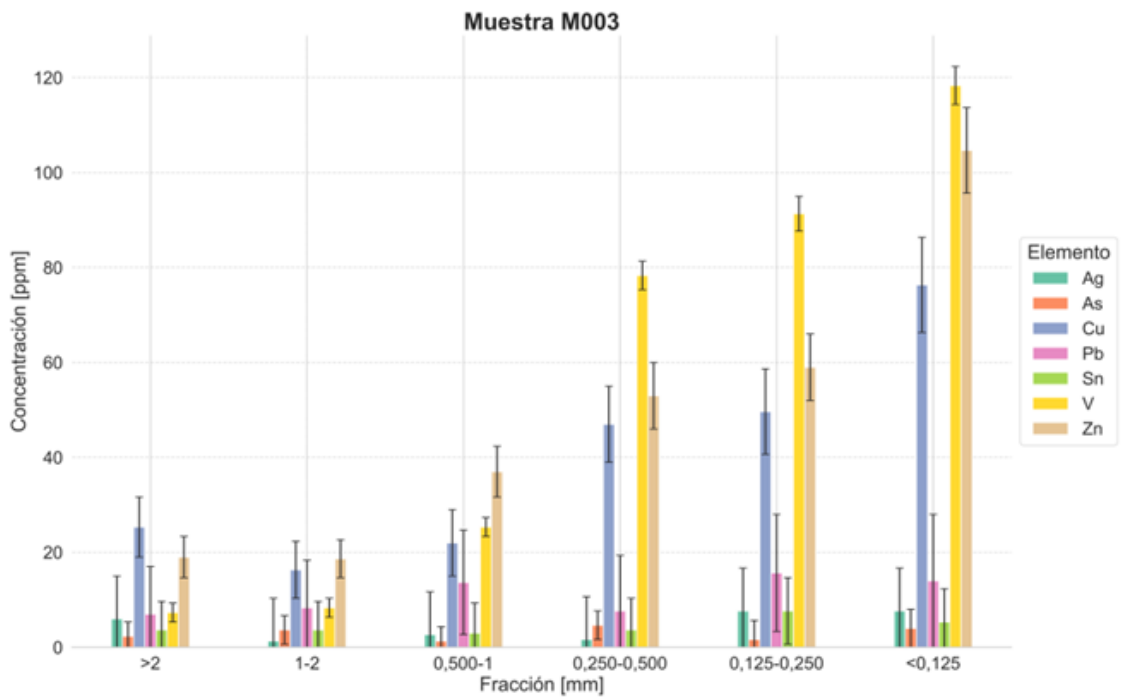
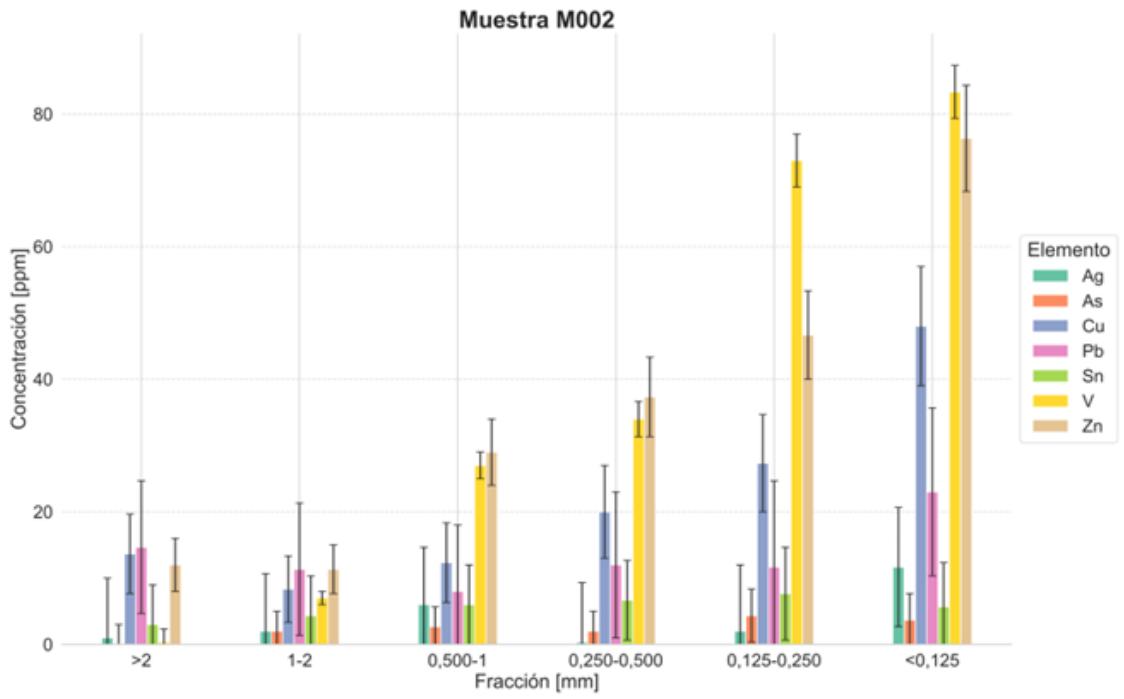
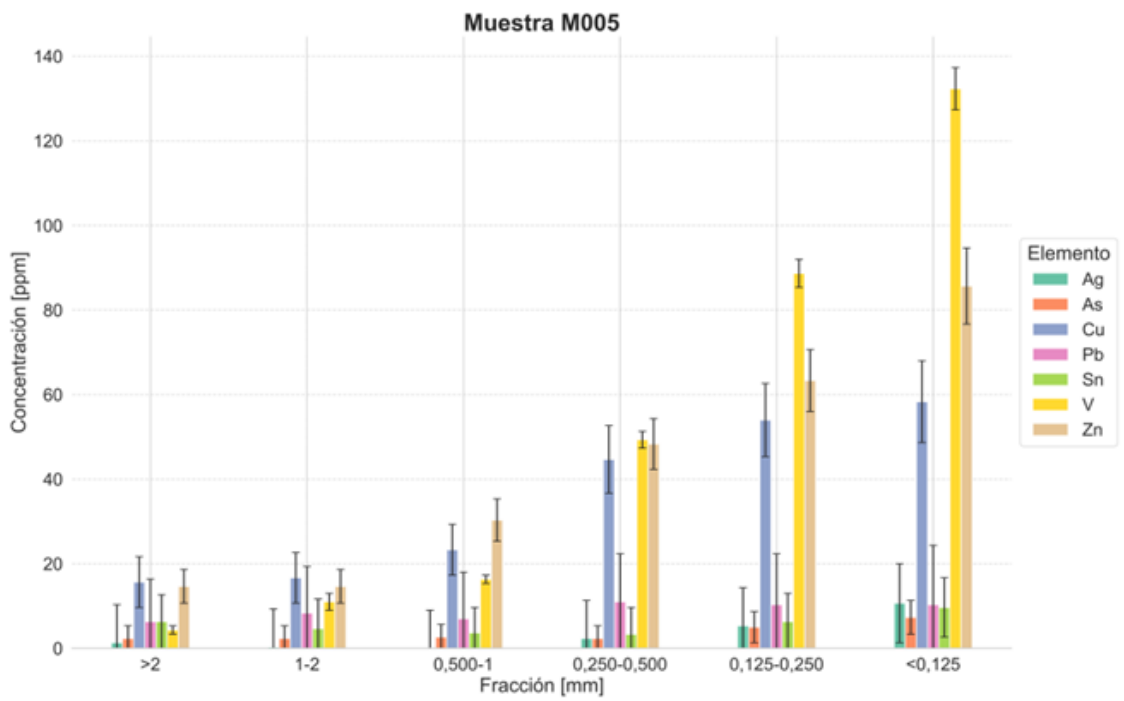
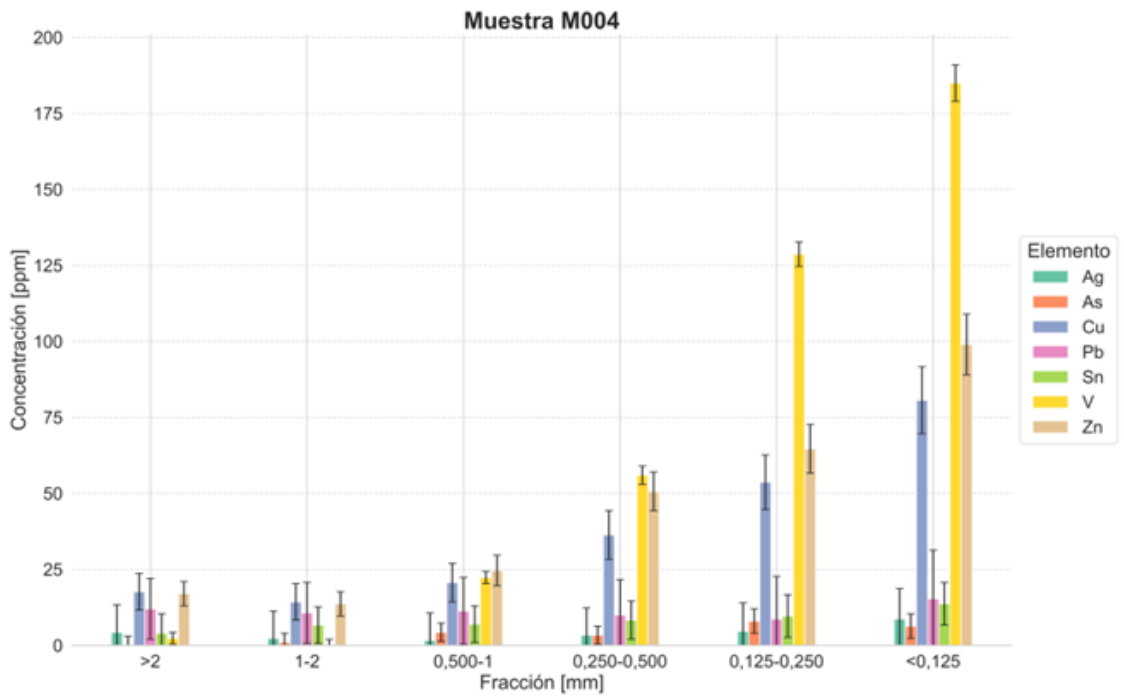
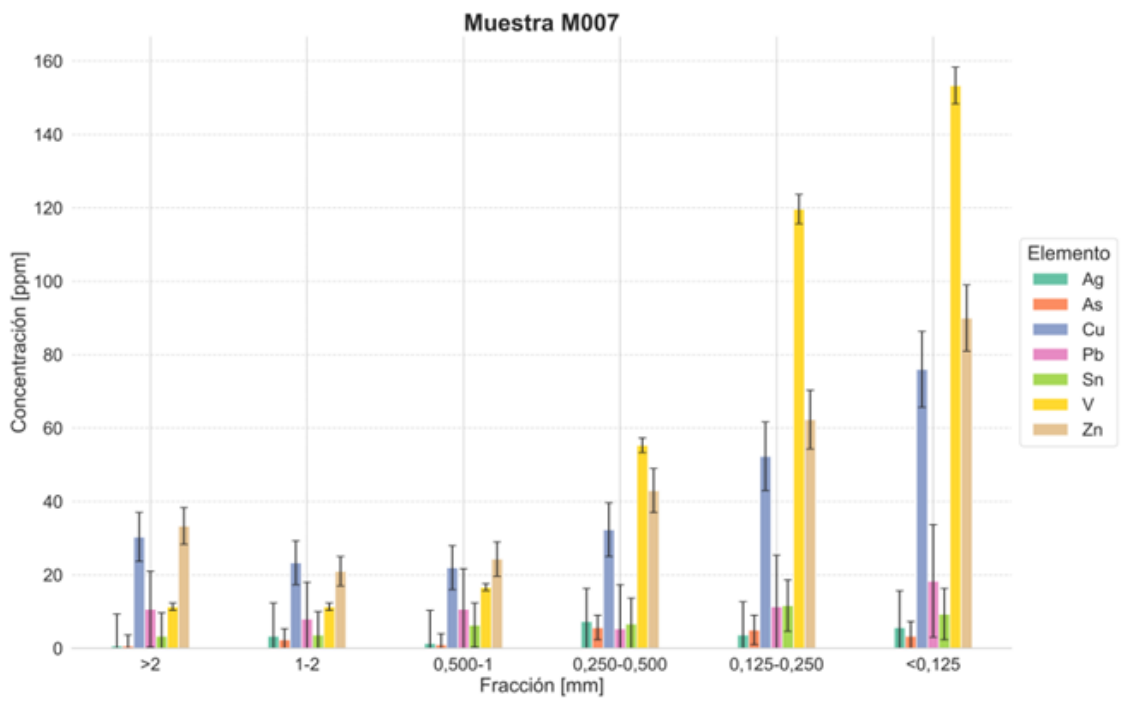
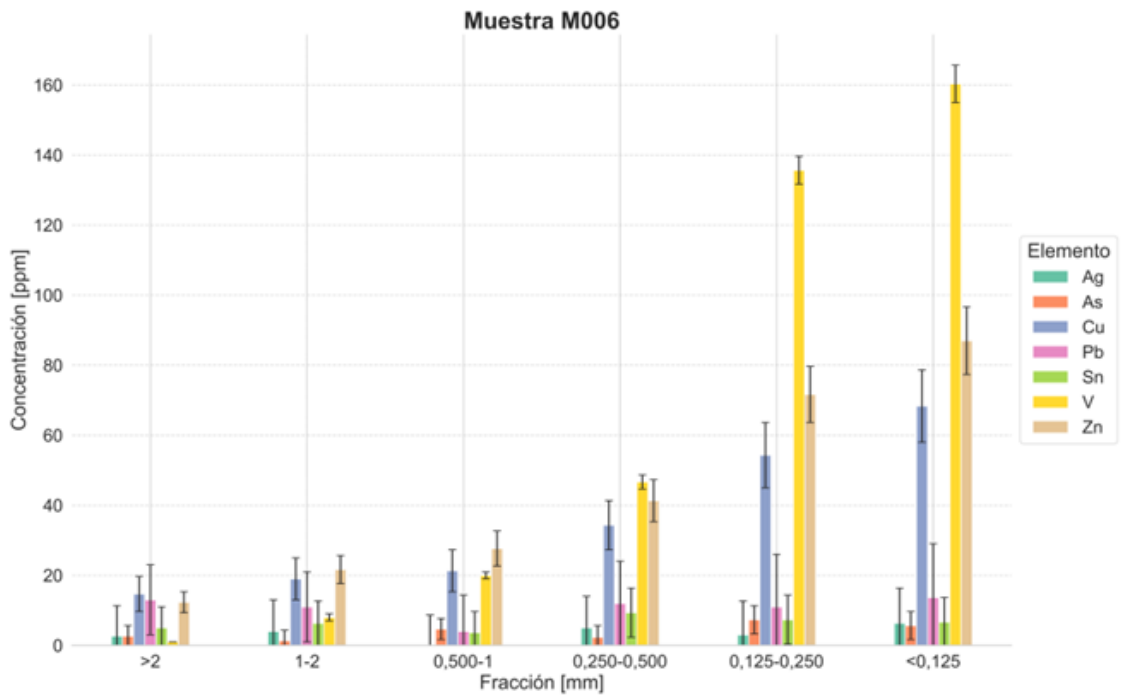


Figura 8. Distribución geoquímica de elementos minoritarios por tamaño de grano. En Ba exhibe una disminución de la concentración, mientras que el Mn, P, Cr, Sr y Zr, aumentan hacia las partículas de tamaño entre 0.125 – 0.250 mm, < 0.125 mm, 0.063 – 0.125 mm y < 0.063 mm.









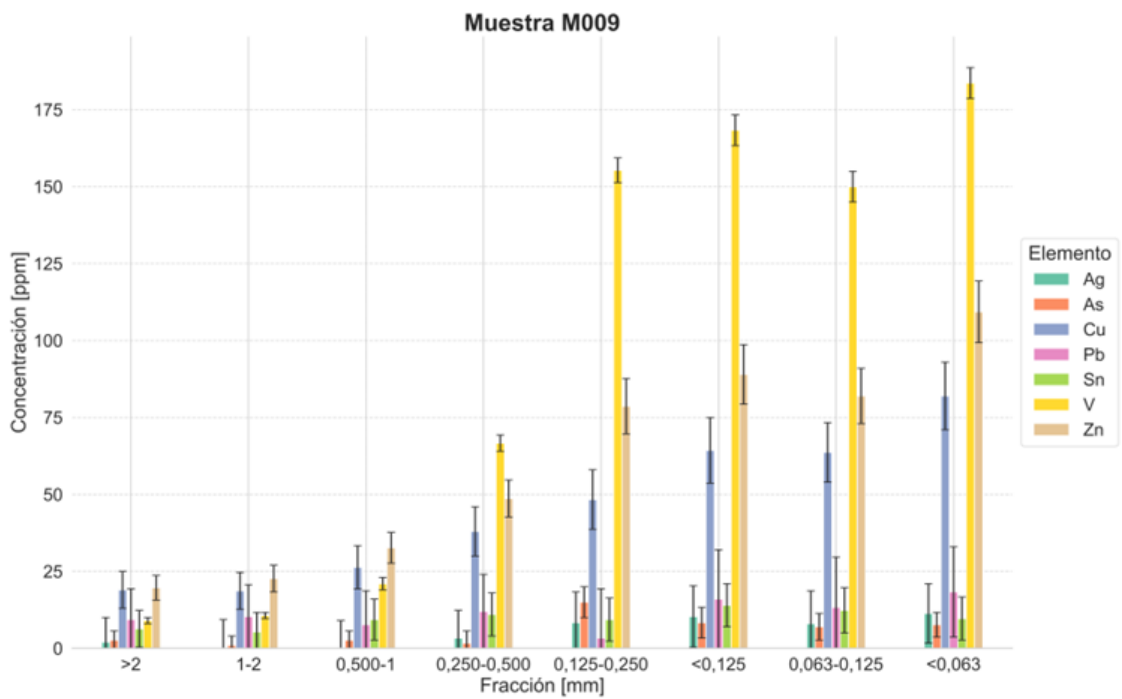
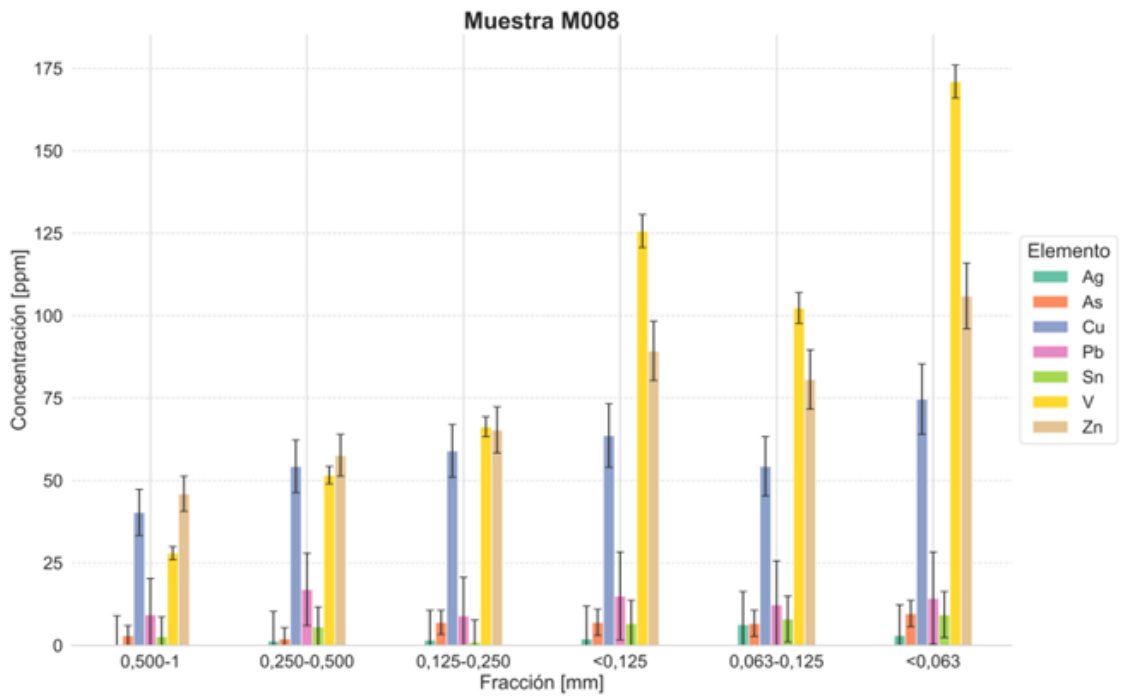


Figura 9. Distribución geoquímica de elementos minoritarios por tamaño de grano. El Ag, As, Cu, Pb, Sn, V y Zn, se maximizan las concentraciones en las partículas finas, entre 0.125 – 0.250 mm, < 0.125 mm, 0.063 – 0.125 mm y < 0.063 mm.

3.3. Índice I

Los resultados del análisis del índice I, presentados en la **figura 10**, revelan que las partículas de tamaño superior a 2 mm exhiben valores de I en el rango de -7.5552 a -3.4841. Las partículas entre 1 y 2 mm muestran valores de I que oscilan entre -7.5132 a -4.1682, manteniendo una tendencia similar a las partículas > 2 mm. Para las partículas de 0.500 a 1 mm, los valores de I varían entre -6.1695 y 2.6692. En el caso de las partículas de 0.250 a 0.500 mm, los valores de I oscilan entre -1.4707 y 9.0463. Las partículas de 0.125 a 0.250 mm presentan un rango de -1.2313 a 23.6647. Finalmente, las partículas < 0.125 mm muestran valores de I entre 3.4931 y 35.2764.

Se ha calculado el promedio de I para cada fracción granulométrica. Los resultados indican que el tamaño de partícula > 2 mm presenta un índice promedio de -5,7290. La fracción de 1 – 2 mm presenta -5,94857. De 0.500 – 1 mm exhibe un promedio de -3,41495. De 0.250 – 0.500 mm con 2,9452. De 0.125 - 0.250 mm con 10,51893. Finalmente, el tamaño de partícula < 0.125 mm con 18,5568.

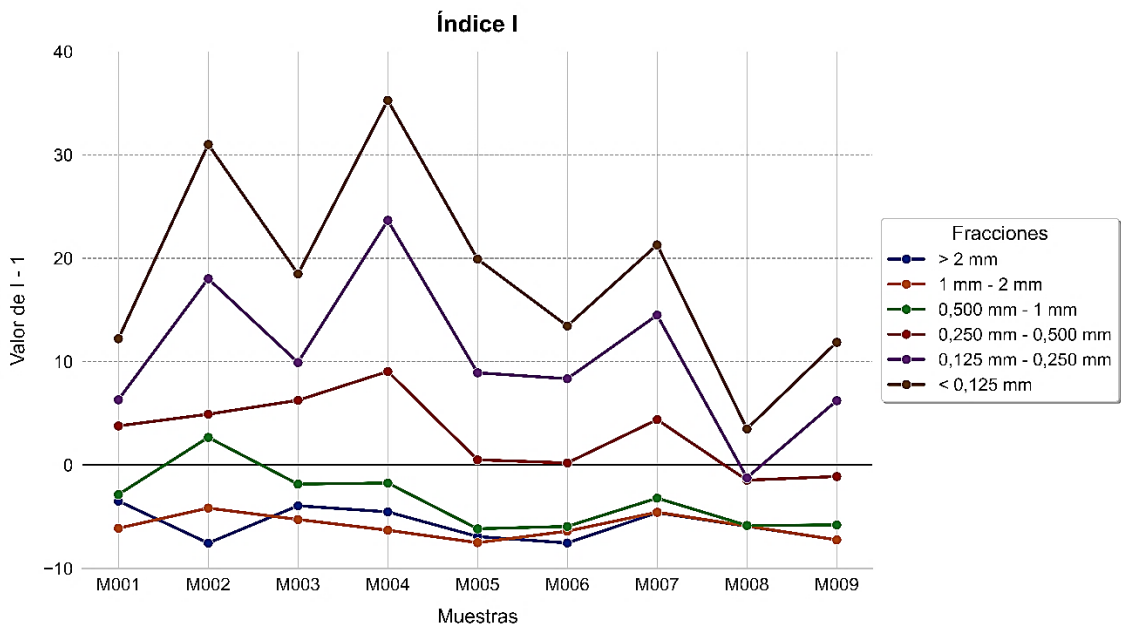


Figura 10. Diagrama lineal con datos del índice I en los tamaños de grano (> 2 mm, 1 – 2 mm, 0.500 – 1 mm, 0.250 – 0.500 mm, 0.125 – 0.250 mm, < 0.125 mm, 0.063 – 0.125 mm y < 0.063 mm).

4. DISCUSIÓN

4.1. ¿Cuáles fracciones granulométricas reflejan mejor las características químicas de la muestra total?

El objetivo de este estudio es demostrar que fracción granulométrica representa de mejor forma a la muestra total. Los análisis del índice I muestran que el tamaño de partícula entre 0.250 – 0.500 mm presenta mejor las características químicas de la muestra total con un índice promedio de 2,9452 porque este valor tiende cerca de cero. Otra granulometría que presenta una tendencia ligeramente cercana a cero es entre 0.500 – 1 mm con un valor promedio de I de -3,4149. Las recomendaciones presentadas en el Manual de Campo de Mapeo Geoquímico de FOREGS (Salminen & al., 1998) respecto al tamaño de grano indican que la fracción < 0.150 mm es más apropiada para el análisis geoquímico con sedimentos de corriente, debido a que no solo abarca las partículas de arena muy fina, limo, arcilla y coloidal, sino que también provee una cantidad suficiente de material fino en la mayoría de las situaciones. Sin embargo, en este estudio, se evidenció que el tamaño de grano < 0.125 mm, presentó un promedio de todas las muestras del 6% de material retenido. No obstante, esta fracción no reflejó un parecido de las características químicas con la muestra total, ya que presentó un índice I promedio de 18,5568, lejano del valor cero. Sin embargo, la fracción entre 0.250 – 0.500 mm presentó en la mayoría de muestras la mayor deposición de material con un promedio de 34.92% de todas las muestras. Lo que sugiere que la cantidad acumulada de cierto tamaño de grano no es representativo de las características químicas de la muestra total. En un caso particular del Río Huanghe y Changjian, de acuerdo a Zhou et al., (2013), las variaciones composicionales entre diferentes fracciones de tamaño de grano están condicionadas por la composición de la muestra total de sedimento. En otro estudio realizado en la región este de China, identificaron que la fracción entre 2 – 0.250 mm, es la fracción que mejor representa las características químicas de los sedimentos fluviales para la prospección geoquímica, en paisajes de baja montaña, húmedo – semi húmedo.

De acuerdo a MacLaren, (1981), considera que las diferencias de tamaño de grano, observadas en sedimentos del Río Lorohuasi, están principalmente definidas por la litología parental. En este caso, la litología parental de los sedimentos, provienen de un cuerpo ígneo tipo granítico conocido como Granito de Abitagua. Sin embargo, el tamaño de grano puede estar vinculado tanto con el material parental como material terrígeno expuesto en los tramos de los ríos. El dominio de partículas gruesas aguas arriba y partículas medias aguas abajo del Río Tena, evidencia que partículas entre 0.250 – 0.500 mm son mayormente transportables aguas abajo, posiblemente relacionado con la pendiente y descarga de sedimentos provenientes de ríos tributarios que alimentan constantemente con partículas de similar tamaño.

Las muestras M007 (28067 ppm), M008 (22199 ppm) y M009 (25105 ppm) presentan valores de K comparativamente más bajos que M001 (30068 ppm), M002 (36802 ppm) y M003 (31129 ppm). De acuerdo a Maurice et al., (2015), en un estudio realizado en las estribaciones del Río Napo evidenciaron que el K presenta una disminución de la concentración aguas abajo debido a la erosión de las rocas que forman parte de los Andes y el piedemonte andino. Las granodioritas y dioritas están constituidas por cuarzo, feldespato, biotita, epidota, clorita y plagioclasa (Vera, 2023). De acuerdo a Wedepohl, (1969), menciona que los feldespatos potásicos, biotita y micas son los portados principales de K en las rocas y sedimentos. Posiblemente, los sitios de muestreo aguas abajo con bajos valores de K están relacionados con el lavado de minerales portadores de K de baja densidad en los sedimentos y la pendiente del canal del río. Según Fassbender & Bornemisza, (1994), los granitos son las fuentes de altas concentraciones de Si. Por lo que se considera que la alta concentración permanente de Si en cada muestra está relacionado con la presencia de depósitos de granos de cuarzo y fragmentos líticos, erosionados de un cuerpo plutónico ubicado en la zona subandina. Aguas abajo del Río Tena, el Al, Ca, Fe, Mg y Ti reflejan un aumento de la concentración. De acuerdo a Haritash, (2023) el aumento de la concentración de Al y Fe al moverse hacia las muestras aguas abajo se atribuye a que las fuentes de metales de Al y Fe son naturales. Probablemente relacionado con la lixiviación de capas de roca y suelo expuestas en los tramos de los ríos. En base a Ranasinghe et al., (2008), las

concentraciones altas de Al en un sitio están atribuido a la presencia de minerales de arcillas, producidos por la meteorización de sedimentos clásticos. Los feldespatos como las plagioclasas contienen altos valores de Ca. Los bajos contenidos de Ca, Mg y Ti en muestras ubicadas aguas arriba están asociados a la erosión de suelo y sedimento provocado por la velocidad del flujo de agua y pendiente.

La distribución de elementos minoritarios en las muestras totales, reflejan una disminución de la concentración de Bario aguas abajo del Río Tena. En un estudio realizado por Litherland et al., (1978), evidenciaron altas concentraciones en los sedimentos fluviales, aguas arriba del Río Chincana, asociado a mineralizaciones de barita en la Cordillera Real. Lo que sugiere que la disminución de la concentración de Ba aguas abajo está influenciado por la mineralogía del Granito de Abitagua que es de origen natural. De acuerdo a Pulchelt, (1972), El Ba no forma sus propios minerales, sino que se integra en la estructura de los silicatos. Los principales portadores de Ba y K son el feldespato potásico y las micas. Así que, los mismos factores que afectan al K pueden ser responsables de la tendencia de distribución del Ba.

En el caso del Mn, P, Cr, V, Zn, Zr, Sr, As y Cu exhiben un aumento de la concentración aguas abajo. De acuerdo a Haritash, (2023), el Zn y Cu pueden verse afectados por el impacto de las actividades antropogénicas. La concentración de Zn en la muestra M008 (74 ppm) es significativamente mayor que la concentración promedio de Zn en la corteza continental. En base a Ranasinghe et al., (2008), la distribución de V y Fe puede comportarse similar, ya que el V se encuentra como un componente menor en los minerales ricos en Fe. Lo que explica que V y Fe tiendan a aumentar su concentración aguas abajo. El contenido de Zr en los sedimentos de M009 (275 ppm) es más alto que las otras muestras. Además, es significativamente mayor que la concentración promedio de Zr en la corteza.

Los resultados de la distribución de elementos mayoritarios y minoritarios demostraron que depende del elemento, este va a estar asociado a un tamaño de grano en mayor concentración. En este estudio, se evidenció que Fe, Mg, Ti, Ca, Al, Cr, Cu, Rb, Sn, Sr, V,

Zr, Zn, P y Mn se maximizan las concentraciones en la mayoría de partículas de tamaño de grano < 0.125 mm, entre $0.063 - 0.0125$ mm y < 0.063 mm. De acuerdo a Georgina et al., (2006), las altas concentraciones de elementos trazas en fracciones finas de los sedimentos de corriente se debe a la mayor superficie de contacto entre las partículas. En base a Guagliardi et al., (2013), el efecto del tamaño de partícula es responsable de la disminución en la concentración de minerales de cuarzo y feldespato. Es probable que la abundancia de minerales de cuarzo y feldespatos en partículas gruesas (> 2 mm, $1 - 2$ mm, $0.500 - 1$ mm) sea la causa principal de su mayor concentración en estas fracciones gruesas. La presencia de estos minerales, que son predominantemente encontrados en partículas de grano grueso, está estrechamente asociada con la presencia de elementos como el Si y K. Hacia los tamaños de partícula < 0.125 mm y < 0.063 mm (limo - arcillas) se produce una disminución del contenido de Si, K y Ba, y un aumento correspondiente en el contenido de Fe, Al, Ti, Ca, Mg, Mn, P, Cr, Sr, Zr, Cu, Zn, V, Ag, As, Sn y Pb. El incremento en el contenido de Al y Ti en la fracción limosa – arcillosa (< 0.063 mm) se encuentra asociado con la presencia de óxidos de hierro y minerales de arcilla. Así como, Fe y Cr están vinculados a la presencia de cristales de magnetita, biotita y clorita (Cullers, 1988).

En el tamaño de partícula < 0.063 mm se identificaron altas concentraciones de Zr. En la fracción limo – arcilla de muestras de sedimento del Río Lese se evidenció este similar comportamiento del Zr, a lo que Guagliardi et al., (2013) sugieren la presencia de cristales de circón. Por lo que, el tamaño de grano contribuye a una elevada concentración de Zr en el tamaño < 0.063 mm. Así mismo, Guagliardi et al., (2013) menciona que las altas concentraciones de Fe en la fracción < 0.063 mm se atribuye a la presencia de clorita rica en hierro. Posiblemente debido a que la clorita se encuentra en minerales arcillosos.

5. CONCLUSIONES

El análisis de las muestras de sedimento recolectadas a lo largo del Río Tena reveló que el tamaño de partícula entre 0.250 mm – 0.500 mm representa mejor las características químicas de la muestra total en esta región. La distribución granulométrica evidenció una mayor deposición de arenas medias, es decir, arenas que oscilan entre 0.250 mm – 0.500 mm aguas abajo. La distribución de elementos mayoritarios y minoritarios en muestras totales, evidenció una disminución de la concentración del K y Ba aguas abajo del Río Tena. En cambio, el Al, Fe, Ca, Mg, Ti, Mn, P, Cr, V, Zn, Zr y Sr aumentaron sus concentraciones aguas abajo. A diferencia de Ag, Sn, Pb, Rb, As y Cu no presentaron una tendencia que diferencie su abundancia aguas abajo o arriba. El análisis de la distribución de elementos mayoritarios y minoritarios en los diferentes tamaños de partícula evidenció que Si, K y Ba disminuyen su concentración química a medida que disminuye el tamaño de grano. A diferencia de, Fe, Al, Ti, Ca, Mg, Mn, P, Cr, Sr, Zr, Cu, Zn, V, Ag, As, Sn, Pb evidenciaron aumento de la concentración en las partículas limo – arcillas, es decir, fracción < 0.063 mm.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardini, J., Garea, M., & Campos, M. (2022). Modelación del transporte de sedimentos puestos en suspensión por actividades de dragado en el río de La Plata, para la generación en tiempo real de pronósticos de afectación de áreas costeras. *Mecánica Computacional*, 21, 2325-2342.
- Cullers, R. (1988). Mineralogical and chemical changes of soil and stream sediment formed by intense weathering of the Danburg granite, Georgia, U.S.A. *Lithos*, Volume 21, Pages 301-314.
- Fassbender, H., & Bornemisza, E. (1994). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Folk, R. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Texas: Hemphill Publishing Company.
- Georgina, L., Benítez, C., Pérez, A., Rojas, A., & García, Z. (2006). Contenido de carbono orgánico y características texturales de los sedimentos del sistema costero lagunar Chantuto- Panzacola, Chiapas. *C Hidrobiológica*, 16(2): 127-136.
- Guagliardi, I., Apollaro, C., Scarciglia, F., & De Rosa, R. (2013). Influence of particle-size on geochemical distribution of stream sediments in the Lese river catchment, southern Italy. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 17(1), 43-55.
- Gutiérrez, I. (2009). *Plan de manejo de la microcuenca del Río Tena*. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.
- Haritash, A. (2023). Heavy metal profile, mobility, and source characterization in size-fractionated bed-sediments of River Ganga, India. *Marine Pollution Bulletin*, 188.
- Horowitz, A. (1991). *A Primer on Sediment-Trace Element Chemistry, 2nd. Edition*. Georgia: Peachtree Industrial Blvd.
- Horowitz, A., & Elrick, K. (1987). The relation of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry. *Applied Geochemistry*, 2, 437- 451.
- Huatatoca, S. (2023). *Análisis geoquímico, petrográfico y estructural del Granito de Abitagua en el geosítio Shunku Rumi*. Tena. Obtenido de Análisis geoquímico, petrográfico y estructural del Granito de Abitagua en el geosítio Shunku Rumi .

- Lemaire, E., Blanc, G., Schafer, J., Coynel, A., & Etcheber, H. (2006). Dissolved trace metal-organic complexes in the Lot- Garonne River system determined using the C18 Sep-Pak System. *Aquatic Geochemistry*, 12(1):21-38. ISSN 13806165.
- Litherland, M., Aspden, J., & Jemielita, R. (1978). *Los cinturones metamórficos del Ecuador*. Quito: British Geological Survey.
- MacLaren, P. (1981). An interpretation of trends in grain-size measure. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 661-624.
- Maurice, L., Pérez, C., Ochoa, V., Egas, D., Lagane, C., Besson, P., & Lopez, F. (2015). Determinación de elementos mayores en sedimentos provenientes de zonas afectadas por actividades petroleras en Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, <https://doi.org/10.18272/aci.v7i2.271>.
- Organismo Internacional de Energía Eléctrica. (15 de junio de 2019). *Espectrometría de rayos X*. Recuperado el 1 de marzo de 2024, de <https://www.iaea.org/es/ciencia-nuclear/espectrometria-de-rayos-x>
- Pulchelt, H. (1972). *Barium: abundance in rock forming minerals (I) and barium minerals*. Berlín.
- Quintero, D., López, V., Ferreira, S., Rovere, A., Espinoza, P., & Sulbelza, C. (2021). Análisis granulométrico de sedimentos y dinámica fluvial en la cuenca del río Lorohuasi (Cafayate, Salta). *Serie Correlación Geológica - 37(1)*, 19 - 48.
- Ranasinghe, P., Dissanayake, C., & Rupasingheda, M. (2008). Stream sediment geochemistry of the Upper Mahaweli River Basin of Sri Lanka—Geological and environmental significance. *Journal Geochemical Exploration*, 1-28.
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma: FAO.
- Rodríguez, R. (2021). Risk assessment in geological, mining and environmental engineering. *Revista de Ciencias de la Tierra*, 4(3), 363-592.
- Salminen, & al., e. (1998). FOREGS geochemical mapping field manual. . *Geological Survey of Finland*, Guide 47, 36.
- Trevor, M., Anthe, G., Aikaterini, B., Álvarez, P., Charles, D., Stanislav, V., . . . Lars, K. (2015). Quantitative X-ray Fluorescence Analysis of Biomass (Switchgrass, Corn

- Stover, Eucalyptus, Beech, and Pine Wood) with a Typical Commercial Multi-Element Method on a WD-XRF Spectrometer. *Energy&Fuels*.
- Udden, J. (1914). Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the geological society of America*, VOL. 26, 655-744.
- Vera, D. (2023). Quantitative Assessment of Geodiversity in Ecuadorian Amazon, Napo Province: Case Study Napo Sumaco Geopark. *Geoheritage*.
- Wedepohl, K. (1969). *Handbook of Geochemistry* (Vol. vol. II/4). Springer-Verlag.
- Wentworth, C. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology Vol. 30, No. 5*, 393-400.
- Yang, F., Kong, M., Xie, S., Nie, L., Song, Y., Wang, C., . . . Guo, Z. (2022). The Relationship between Particle Size and Element Distribution in Stream Sediments from the Dongyuan W-Mo Deposit, Eastern China. *Minerals*, 1(12), 1-20.
- Zhou, X., Li, A., Jiang, F., & Lu, J. (2013). Effects of grain size distribution on mineralogical and chemical compositions: a case study from size-fractional sediments of the Huanghe (Yellow River) and Changjiang (Yangtze River). *Geological Journal*, 50: 414–433.