



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIA FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**ISOMASAS: MODELO DE TRANSFERENCIA DE MASA PARA PROCESOS
GEOQUÍMICOS ABIERTOS. IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS CONSERVADOS Y
CUANTIFICACIÓN DE TRANSFERENCIA DE MATERIAL.**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS MENCIÓN GEOLOGÍA

SERGIO ERNESTO CALDERÓN DÍAZ

PROFESOR GUÍA

BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

KATJA DECKART

FRANCISCO HERVÉ ALLAMAND

FRANCISCO FUENTES IZA

CLIFFORD STANLEY

SANTIAGO DE CHILE

2022

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO
DE: Doctor en Ciencias, Mención Geología
POR: Sergio Ernesto Calderón Díaz.
FECHA: 2022
PROF. GUÍA: Dr. Brian Townley Callejas

ISOMASAS: modelo de transferencia de masa para procesos geoquímicos abiertos. Identificación de elementos conservados y cuantificación de transferencia de material.

Se presenta la metodología Isomasas para identificar elementos conservados durante procesos geológicos geoquímicamente abiertos, para consecuentemente estimar el cambio de masa relativo y absoluto del resto de los elementos. El modelo fue aplicado a una serie de muestras sintéticas, cuyas concentraciones elementales fueron obtenidas a partir de cambios de masa controlados de manera tal que conocer las transferencias de masa elementales y comprobar la efectividad de la metodología. El método también fue aplicado a numerosas series de datos disponibles en la literatura.

El algoritmo generado a partir del modelo Isomasas ha demostrado ser eficaz para encontrar cuál(es) elemento(s) fue(ron) conservado(s) en su masa en una variedad de ambientes geológicos y, adicionalmente, para encontrar cuál es la mejor muestra a considerar como precursora.

La metodología se basa en el principio de que, para que un elemento sea considerado conservado, debe existir un cambio de masa del sistema total, desde la muestra precursora a la secundaria, el cual dé cuenta de la conservación de masa de aquel elemento. La masa estimada del sistema hijo permite calcular la masa de cada uno de los elementos en el sistema hijo, considerando 100g de masa precursora inicial. Se calcula entonces la transferencia de material relativa de cada elemento.

El elemento teóricamente considerado como conservado debe cumplir la condición de transferencia de material igual a cero para confirmarse como elemento conservado. Si no cumple con la condición, la diferencia de masa será diferente de cero y se dirá que el elemento no es conservado.

El modelo puede identificar si: a) los elementos considerados como conservados realmente lo son, b) cuáles otros elementos fueron conservados, adicionados o removidos desde la estimación de masa secundaria de aquel elemento y c) una virtualmente exacta estimación del cambio de masa total producto del proceso geológico geoquímicamente abierto afectando a la muestra precursora.

Se presentan resultados de la aplicación de este modelo a bases de datos de diferentes tipos de metamorfismo, incluyendo grandes bases de datos correspondientes a sistemas magmático-hidrotermales.

De esta manera, se propone el uso de esta metodología como una herramienta para la interpretación de procesos de transferencia de masa en ambientes geológicos geoquímicamente abiertos.

A Paola Alejandra Calderón Díaz

Agradecimientos

Agradezco a Mirka Fresia Estay Díaz.

Agradezco a Erica Gina Díaz Estay.

Agradezco a Paola Alejandra Calderón Díaz.

Agradezco a Sergio Eugenio Calderón Miranda.

Agradezco a quienes me acompañaron durante este doctorado.

Agradezco a quienes me dieron la oportunidad de completarlo.

Agradezco a lxs anónimxs.

Agradezco a muchxs animalxs compañerxs.

Agradezco a lxs funcionarxs no académicxs de la universidad.

Agradezco a quienes creen que no les agradezco.

Agradezco a quienes luchan toda la vida por transformarlo todo.

Tabla de Contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Elementos conservados: una referencia válida.....	5
2	Hipótesis.....	9
3	Objetivo.....	9
4	Metodología.....	10
5	Consideraciones previas.....	11
6	Isomasas.....	12
6.1	Origen y diferencias con la metodología de Isóconas.....	12
6.2	Enunciación del método de Isomasas.....	18
6.3	Elementos adicionados, elementos removidos y elementos conservados.....	21
6.4	APLICACIÓN DEL MÉTODO ISOMASAS: ejemplo sintético.....	23
6.5	SERIE DE MUESTRAS SECUNDARIAS: Razones de Masa de Sistemas Secundarios.....	28
6.6	REPRESENTACIÓN GRÁFICA de la modelación Isomasas.....	30
7	Aplicación del Método a casos reales.....	33
8	Aplicación del Método a grandes bases de datos.....	60
9	Otros resultados de Isomasas.....	94
9.1	Isomasas aplicado a Perfiles de Meteorización.....	94
9.2	Isomasas aplicado a Lavas afectadas por Metamorfismo.....	100
9.3	Isomasas aplicado a Zonas de Alteración.....	107
9.4	Isomasas aplicado a vetillas y fallas.....	112
9.5	Isomasas aplicado a ambientes Magmáticos.....	115
10	La Cuantificación: discusiones sobre este modelo.....	118
11	Conclusiones.....	121
	Símbolos utilizados en esta Tesis.....	123
	Bibliografía.....	124
	Anexo A. Tablas de datos originales utilizados en esta Tesis.....	137
	Anexo B. Tablas de datos dr_i obtenidos a partir de la aplicación del método Isomasas.....	167
	Anexo C. Representación gráfica de resultados de Isomasas a partir de resultados desplegados en el Anexo D.....	193

Anexo D. Resultados de Cantidad Relativa de Transferencia de Material calculados con la metodología Isomasas.....	228
Anexo E. Algoritmos escritos en MatLab© del Método Isomasas.....	231

Índice de Figuras

Figura 6.1. Modelo Isomasas conceptual para la estimación de transferencia de masa a partir de un sistema precursor de dos elementos químicos 1 y 2. Caso 1: disminución de masa del sistema por remoción de 10g del elemento 1. Caso 2: aumento de masa del sistema por adición de 10g del elemento 1. En ambos casos el elemento 2 es el conservado en su masa.	22
Figura 6.2. Distribución de porcentaje en peso de óxidos (<i>wt%</i>) y en partes por millón (<i>ppm</i>) de elementos trazas para muestras sintéticas con incorporación de masa en azul (dilución de sílice) y remoción de masa en verde (concentración de sílice). Muestra precursora en rojo. En los valores de abscisa SiO_2 <i>wt%</i>	26
Figura 6.3. Modelo conceptual para la determinación de un par de elementos conservados (<i>x, y</i>) a partir de la correlación de las Razones de Masa de Sistemas Secundarios en una serie de muestras cogenéticas.	29
Figura 6.4. Coeficiente de correlación (<i>R</i>), pendiente de las razones de masa de sistemas secundarios (<i>m</i>) e interceptos (<i>b</i>) para los pares de elementos 'TiO ₂ -Zr', TiO ₂ -Al ₂ O ₃ ', 'TiO ₂ -Sr' and 'TiO ₂ -P ₂ O ₅ ' obtenidos para las muestras sintéticas A1-A7.....	30
Figura 6.5. Cantidad relativa de transferencia de material para elementos mayores y trazas cuando TiO ₂ y Zr son respectivamente considerados como conservados para el set de muestras sintético A1-A3 (remoción de masa) y A4-A7 (adición de masa).	31
Figura 9.1. Variación de cambio porcentual de masa para suelo Jiang et al. (2018) y paleosuelo (Condie et al., 1995) de los pares de elementos Zr-V, Sc-Th, Zr-Th, Nb-Ta, Lu-Hf y Zr-Hf. 95	
Figura 9.2. Variación composicional del par Th-Zr en concentración (<i>ppm</i>) y en % <i>dri</i> y respecto de profundidad en perfil de suelo de Jiang et al. (2018). La leyenda muestra la distribución relativa de profundidad para suelo, saprolita y basalto semimeteorizado. Recuadro inserto discrimina muestras de suelo con adición de TiO ₂ (diamantes amarillos) de aquellas con remoción de TiO ₂	96
Figura 9.3. Variación de % <i>dri</i> de pares de elementos TiO ₂ vs Zr, Th vs Sc, Lu vs Hf y Zr vs Hf para el perfil de suelo de Condie et al. (1995). Recuadro: distancia a la discordancia entre el la Formación Fountain sobreyacente al nivel de suelo a partir de la Granodiorita Boulder. Muestra en círculo amarillo, CR110, corresponde a granodiorita.	98

- Figura 9.4. Comparación de variación de % *dri*/*drj* (izquierda) con X_i/X_j (derecha) según distancia a la discordancia. Precursora=p muestra CR120. Muestra en círculo amarillo, CR110, corresponde a granodiorita..... 99
- Figura 9.5. Diferencia porcentual (% *dri*) de elementos alcalinos y alcalino térreos, Cr, SiO₂, Y y V para muestras de lavas con diferentes grados de metamorfismo. VLGM andesite: lava andesítica con metamorfismo de muy bajo grado en facies ceolita; Serpt. Pillowed Basalt/Komatiite: basaltos almohadillados y komatiitas serpentinizadas; Komatiite lava Flow: lavas komatiíticas C y AB; Buried basaltic andesite: lava continental basalto andesítica en facies prehnita-pumpellyita; Cogenetic lavas: serie cogenética de lavas de la Fm. Chala; Bentonite Rhyolite/Andesite: lavas riolítica y andesítica bentonitizadas. 102
- Figura 9.6. % *dri* en K₂O, Sr, Rb y Rb/Sr para las muestras de la colada de lava estudiada por Aguirre (1988). Los datos junto a símbolos indican: razón $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ calculada a 160Ma antes del presente, razón Rb/Sr_{atm} y edad K-Ar. 103
- Figura 9.7. Cantidad relativa de transferencia de material s para tres casos de Metamorfismo de Muy Bajo Grado ocurrido sobre rocas volcánicas de composición básica. 104
- Figura 9.8. Cantidad relativa de transferencia de material en Sr, Ba y Rb con respecto a aquel de Fe₂O₃ para muestras sometidas a diferentes grados metamórficos..... 105
- Figura 9.9. Resultados de Cantidad relativa de transferencia de material (% *dri*) para las muestras de los perfiles de alteración a bentonita de las zonas de Prassa (medio) y Zoulias (abajo), desde análisis en Christidis (1998), para elementos alcalinos y alcalinotérreos, considerando la muestra precursora y los elementos conservados SM285-TiO₂ y SM203-Zr, en cada perfil. 107
- Figura 9.10. Resumen de resultados de Cantidad relativa de transferencia de material (% *dri*) para las muestras de diferentes tipos de alteración de granito, desde análisis en Alderton et al. (1980), para elementos mayores y trazas, considerando la muestra precursora y los elementos conservados explicitados en la Tabla B.9 de los Anexos. Resultados extensivos en Figura C.9.1 - 9.2 de los Anexos. 108
- Figura 9.11. Resumen de resultados de Cantidad relativa de transferencia de material (% *dri*) para las muestras de alteración de corteza oceánica según profundidad, desde análisis en Bach et al. (2001), para elementos mayores y trazas, considerando la muestra precursora y los elementos conservados explicitados en la Tabla B.10 de los Anexos. Resultados extensivos en Figura C.10.1 - 10.6. 110
- Figura 9.12. Cantidad relativa de transferencia de material (% *dri*) de elementos alcalinos y alcalinotérreos para las muestras de alteración de corteza oceánica según profundidad, desde análisis en Bach et al. (2001), considerando la muestra precursora y los elementos conservados explicitados en la Tabla B.10 de los Anexos. El recuadro resume el elemento

considerado como conservado y la profundidad en la corteza. Para la muestra A1.1 los valores de % <i>dmCs</i> y % <i>drRb</i> se muestran en recuadros insertados.....	111
Figura 9.13. Resumen de resultados de Cantidad relativa de transferencia de material (% <i>dri</i>) para las muestras de albitización de diferentes protolitos, desde análisis en Oliver et al. (2004), para elementos mayores y trazas, considerando la muestra precursora y los elementos conservados explicitados en la Tabla B.12 de los Anexos. Resultados extensivos en Figura C.12.1.	111
Figura 9.14. Resultados de Cantidad relativa de transferencia de material (% <i>dri</i>) respecto a distancia a la vetilla retrógrada carbonatada (dolomita-calcita), para las muestras de vecindad de una vetilla en rocas de la subfacies epidota-esquistos azul, desde análisis en Mori et al. (2003), para elementos mayores y trazas, considerando la muestra precursora y los elementos conservados explicitados en la Tabla B.13 de los Anexos. Resultados extensivos en Figura C.13.1-13.2.	113
Figura 9.15. Diferencia porcentual (% <i>dri</i>) para el Perfil A (diamantes azules) y el Perfil B (diamantes verdes) de las rocas metamórficas afectadas por vetillas carbonatadas investigadas por Mori et al. (2003), para la relación (MgO+Fe ₂ O ₃) versus (V+Ni), Y versus Cu y Ni versus Sr. Se detallan esos resultados según la distancia a la vetilla para cada perfil (recuadros).....	114
Figura 9.16. Cantidad relativa de transferencia de material en Cr y Ni para los Flujos de lava komatiíticos serpentinizados descritos por Shore (1996). A la derecha se observan los resultados para ambos flujos de lava AB y C según la relación Cr versus Ni, arriba, y (Cr + Ni) versus (MgO + SiO ₂), abajo; en el centro el detalle de la relación Cr versus Ni para el flujo C, arriba, y flujo AB, abajo; a la izquierda, las mismas relaciones desde la perspectiva PER.	115
Figura 10.1. Propuesta de clasificación de transferencia de masa y movilidad de elementos. .	120

Índice de Tablas

Tabla 1.1: Resumen de metodologías utilizadas para la estimación de transferencia de masa en procesos geoquímicamente abiertos.	6
Tabla 6.1: Composición en masa (g) y en concentración para las muestras sintéticas precursora y secundarias. <i>S_j</i> representa la masa total de cada muestra.	24
Tabla 6.2: Resultados numéricos de Isomasas para TiO ₂ y Zr como elementos conservados en caso sintético.	27

1 Introducción

1.1 Antecedentes

En estudios de procesos de transferencia de masas en sistemas geológicos, por ejemplo, metamorfismo, metasomatismo, procesos hidrotermales y meteóricos, entre otros, se ha enfrentado una problemática común respecto de la forma de evaluar en forma cuantitativa los cambios de masa y concentraciones relativas de los elementos, esto dado que la mayoría de los sistemas en que ocurren estos procesos son del tipo termodinámicos abiertos. En la literatura se han propuesto una diversidad de metodologías (Gresens, 1967; Chakraborty, 1977; Giggenbach, 1984; Bartley, 1986; Grant, 1986, 2005; Dipple et al., 1990; Nicholls, 1988; Dixon et al., 2012; Hilchie et al., 2018), las que no resuelven del todo la problemática, en particular la de cómo determinar comportamientos de movilidad/inmovilidad de algunos elementos y por qué ser empleados como referencia para la evaluación de cambio de otros. En esta Tesis se presentan los resultados de investigación que llevan a una propuesta metodológica que permite establecer fehacientemente qué elemento en un sistema dado será una referencia válida para la estimación de transferencia de masa elemental, a través del método Isomasas. Esta nueva metodología resuelve algunas de las problemáticas existentes en métodos previos y permite identificar con mayor certeza los elementos que conservan su masa en procesos geoquímicamente abiertos.

Se entenderá que un sistema se encuentra geoquímicamente abierto en el sentido utilizado por Ostrovsky (1974), basado en las ideas de Korzhinskii (1959), en la cual los componentes de un sistema pueden ser perfectamente móviles o inertes, cuyos factores de equilibrio son justamente sus masas y/o potenciales químicos asociados a gradientes composicionales y físico-químicos que determinan si un equilibrio local puede ser alcanzado. El equilibrio ocurre en un sistema a escala local, el cual se define como un volumen efectivo de reacción en el cual se dan las condiciones locales de reacción para alcanzar ese equilibrio (Vernon & Clarke 2008).

Los gradientes composicionales se determinan a partir de la variabilidad de concentración de un elemento, la cual no es representativa de la transferencia de masa real que a ese elemento afecta (Stanley, 2005). Esto es relevante cada vez que algún elemento considerado inmóvil es utilizado como referencia de movilidad para el resto de los elementos químicos en el sistema,

puesto que se pueden generar implicancias erróneas respecto de los cambios de masa que ocurren en los diversos ambientes geológicos.

Esta Tesis mostrará resultados de la nueva metodología de Isomasas para la estimación de transferencia de masas en procesos geoquímicos abiertos (en cualquier ambiente geológico), los cuales hayan alcanzado o no el equilibrio local y de los cuales se disponga de análisis químicos de concentración en masa. Se establece también la relación entre transferencia de masa y movilidad de elementos.

Considerando que, durante muchas décadas, se han estudiado los sistemas metamórficos como sistemas geoquímicamente cerrados -con excepción de los sistemas hidrotermales y metasomáticos-, se estudia el fenómeno de transformación de un volumen de roca -compuesto por cierto conjunto de minerales- a otro volumen -compuesto por otro conjunto de minerales-, a partir de reacciones químicas que dejan fuera procesos de hidratación, deshidratación y/o participación de dióxido de carbono (entre otros gases disueltos) los cuales adicionen o remuevan material hacia y desde el volumen efectivo de reacción (Vernon y Clarke, 2008; Dilles y John, 2020).

Esta definición estricta de metamorfismo, también deja fuera reacciones químicas de intercambio de cationes de base asociadas con reacciones de equilibrio agua/roca bajo procesos de difusión, o bien en reacciones de intercambio de cationes de base por H^+ (Vernon y Clarke, 2008; Dilles y John, 2020).

Desde el punto de vista de la exploración geoquímica, esta concepción isocomposicional del proceso metamórfico, metamorfismo de sólido a sólido con modificación de las estructuras minerales y difusión local de elementos químicos, no es una posibilidad (Vernon y Clarke, 2008; Dilles y John, 2020).

A diferencia de los procesos metamórficos, en procesos de alteración hidrotermal y de mineralización en sistemas hidrotermales (procesos metasomáticos) el sistema es geoquímicamente abierto, motivo por el cual se busca determinar la presencia de elementos que permitan evaluar los procesos de cambio de masas (Dilles y John, 2020).

Múltiples metodologías dan cuenta de los cambios químicos a los cuales se ven sometidas las rocas cuando un fluido cargado de cationes, aniones y volátiles disueltos, interactúa con la roca precursora, bajo determinadas condiciones de presión y temperatura (entre otras variables físicas; ej.: Giggenbach, 1984; Reed, 1998).

La propuesta teórica y metodológica que se encuentra en la raíz de gran parte de las investigaciones de balance de masas es aquella presentada por Gresens (1967), quien explicita la necesidad de conocer el cambio de volumen o el comportamiento químico de un elemento para determinar ganancias y pérdidas de materia en rocas afectadas por metasomatismo.

Posteriormente, Chakraborty (1977) presenta un nuevo método para la evaluación del balance de masas para sistemas metamórficos diferenciados: matriz, núcleo y manto. El método se basa en la fracción en peso de los componentes previa y posteriormente al proceso de diferenciación, considerando un factor que da cuenta de si el sistema estaría abierto o cerrado. El modelo necesita de la existencia de un par de elementos inmóviles para realizar las evaluaciones.

Grant (1986 y 2005) presenta una solución gráfica para la propuesta metodológica de Gresens (1967), haciendo notar que las relaciones metasomáticas de volumen y concentración, corresponden en realidad a relaciones de masa. También considera que la presencia de elementos inmóviles define el comportamiento del resto de los elementos y del sistema en su totalidad.

En el mismo año, Bartley (1986) hace una propuesta metodológica para la evaluación de movilidad de Tierras Raras en metabasaltos de bajo-grado metamórfico, con el fin de identificar la movilidad de elementos para una discriminación petroquímica de basaltos. La ecuación presentada por el autor relaciona el volumen, la densidad y masa inicial y final de la roca con la concentración de elementos. El cambio de concentración nulo permite identificar si el elemento es o no inmóvil.

Más tarde, Dipple et al. (1990) identifican escalas de movilidad de elementos en zonas de falla dúctil en facies de anfíbolita. Basado en la ecuación de Gresens (1967), determinan una serie de ecuaciones que darán cuenta de la cantidad de cada elemento movilizada y el factor de volumen de la roca afectada por metamorfismo de alto grado. Este grupo, normaliza a la razón

de concentración de un elemento supuestamente inmóvil las concentraciones y a partir de él determinan la variación del resto de los elementos.

Paralelamente a la comprensión del balance de masas propuesto inicialmente por Gresens (1967), se desarrolla la metodología propuesta en principio por Pearce (1968), quien discute la teoría de los diagramas de variación a partir de datos de concentración. Un elemento considerado inmóvil será el denominador de concentraciones de elementos transformando variables extensivas en variables intensivas, así se generan razones molares de elementos relacionables a cantidades estequiométricas de minerales o de asociaciones minerales. En ese estudio, se reconoce que los diagramas Harker distorsionan los patrones genéticos originales y se propone el uso de las razones molares como herramientas de discriminación efectivas cuando se consideran hipótesis contrapuestas de génesis de rocas.

Profundizando la concepción de razones molares, se desarrolla el método litogeoquímico aplicado a exploración geoquímica, presentada por Nicholls (1988) y Stanley y Russell (1989) a partir de los trabajos de Pearce (1968). Nicholls (1988) realiza un estudio estadístico de los llamados diagramas de Razones de Elementos de Pearce (abreviados como PER por sus siglas en inglés) y lo contrasta a la problemática de clausura identificada antes por Chayes (1949 y 1971). Entre otras conclusiones, determina que, si el elemento en el denominador no muestra un comportamiento restringido como se requiere en la metodología de Pearce, entonces, es probable que la hipótesis probada no sea válida. El requerimiento de que el elemento en el denominador sea efectivamente un elemento conservado es determinante, la decisión del elemento utilizado debería ser tomada a partir de datos petrológicos y no estadísticos.

Hilchie et al. (2018) muestra un avance significativo al generar la convergencia entre la metodología de Grant (2005) y la metodología litogeoquímica (Nicholls, 1988, entre otras investigaciones) para el análisis de movilidad de elementos. La metodología transforma la concentración en masa a Razones de Elementos de Pearce y luego resta la composición de la roca de referencia de todas las otras composiciones. El principio común entre ambas metodologías es la existencia de un elemento o unos elementos que permitan la estimación de movilidad del resto de los elementos. La diferencia de los resultados proviene básicamente de la escala graficada.

La Tabla 1.1 presenta un resumen de las principales fórmulas y metodologías para el cálculo de transferencia de masas utilizado en la actualidad.

1.2 Elementos conservados: una referencia válida

Para que ocurra el fenómeno de transferencia de masa deben ocurrir procesos los cuales han sido recopilados por Fernández-Díaz (1994), basado en los “camino de reacción” descritos primeramente por Helgeson (1968). Teniendo definida la composición inicial del sistema y la distribución inicial de las especies (elementos químicos) en la fase acuosa participante de una reacción irreversible dada, se calculan -en referencia a un mol de mineral reactivo- las molalidades y número de moles de óxidos según una coordenada de progreso de la reacción (ξ). El autor reconoce la necesidad de acoplar los procesos de equilibrio químico con fenómenos de transporte y cinética de reacciones para una descripción más precisa de las interacciones agua-roca.

Tabla 1.1: Resumen de metodologías utilizadas para la estimación de transferencia de masa en procesos geoquímicamente abiertos.

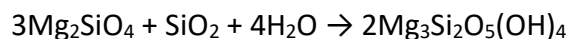
Autoría	Aplicaciones	Fórmula	Elemento referencia
Gresens (1967)	Estimación de ganancia y pérdida de elementos en procesos metamórficos.	$\Delta m_i = 100 \left[\left(\frac{V_s}{V_p} \right) \left(\frac{\rho_s}{\rho_p} \right) C_i^s - C_i^p \right]$	Supone un elemento inmóvil con $\Delta m_i = 0$, para resolver las ecuaciones.
Chakraborty (1977)	Estimación de ganancia y pérdida de elementos en procesos metamórficos y vetillo: m-matriz, c-núcleo, MI- magnitud de desequilibrio (imbalance).	$M^p \cdot C_i^p = M^c C_i^c + M^m C_i^m$ $M^p = M^c + M^m$ $(MI)_i = \frac{100 (M^c C_i^c + M^m C_i^m - M^p C_i^p)}{M^p \cdot C_i^p}$	Elementos No-Transferidos serían aquellos con masa (en gramos) en el núcleo y matriz consistentes, para un par de elementos inmóviles.
Grant (2005)	Estimación de ganancias y pérdidas de elementos en procesos metamórficos, solución a la formulación de Gresens (1967).	$\frac{\Delta C_i}{C_i^p} = \left(\frac{M^s}{M^p} \right) \cdot \left(\frac{C_i^s}{C_i^p} \right) - 1$	Los elementos considerados inmóviles serán aquellos que cumplen con $\Delta C_i = 0$. Determina la isócona.
Bartley (1986)	Estimación de la movilidad de REE en metabasaltos de bajo-gado.	$\Delta m_i = M^p \left[\left(\frac{V_s}{V_p} \right) \left(\frac{\rho_s}{\rho_p} \right) C_i^s - C_i^p \right]$	Elemento inmóvil: que no se mueve con respecto a un volumen de roca definido por estructuras primarias. $\Delta C_i = 0$
Dipple et al. (1990)	Identificación a escala de movilidad de elementos en zonas de falla dúctil.	$\Delta m_i = 100 \left[\left(\frac{V_s}{V_p} \right) \left(\frac{\rho_s}{\rho_p} \right) C_i^s - C_i^p \right]$	Elementos que no sean móviles diferencialmente en ninguno de las dos escalas (limitada o extendida) se consideran inmóviles.
Nicholls (1988)	Determinación de parámetros asociados a patrones de razones molares de Pearce para interpretación geoquímica en fundidos silicatados.	$PER_i^j = \left(\frac{C_i^j}{g_i} \right) / \left(\frac{C_z^j}{g_z} \right)$	Elemento conservado según: petrología, razones constantes de par conservado, intercepto cercano a cero si el denominador no es conservado.
-Dixon et al. (2012)	Cambios en concentración elemental con meteorización valores tau o coeficientes de transferencia de masas (Muir y Logan, 1982). s-soil (secundaria), Zr-concentración circón.	$\tau_i = \left(\frac{C_i^s \cdot Zr_p}{C_i^p \cdot Zr_s} - 1 \right)$	T-Zr supuestamente inmóviles si la razón entre ellos es constante mientras se enriquece con la meteorización y disolución.
Hilchie et al. (2018)	Unificación de método de Razones de Elementos de Pearce con Isóconas (Grant, 2005). Estandarización de concentraciones a muestra referencia o parental.	$C_z^p PER_i^j = C_{si}^j$ $C_{si}^j = n_j C_i^j$ $n_j = C_z^p / C_z^j$	A través del uso de la metodología de la isócona (Grant, 2005).

Por su parte, Giggenbach (1984) presenta una aproximación conceptual a los procesos de transferencia de masa en sistemas de alteración hidrotermal, introduciendo los conceptos de reactividad e intercambiabilidad, los cuales determinan la efectividad de los componentes de los fluidos con respecto de la alteración. Su investigación basada en parámetros termodinámicos, como lo son la actividad de cationes, fugacidad, salinidad y sitios de intercambio, entre otros, determina que las rocas termodinámicamente inestables llegan a convertirse en un sistema fluido/roca estable. A baja razón fluido/roca el sistema se aproximaría a una recristalización isoquímica, en otro caso, se alejaría.

Dada la existencia de gradientes composicionales y físicos dentro de un sistema de roca afectada por algún tipo de metamorfismo: ¿Cómo podremos saber cuánto material entra y cuánto sale del volumen de roca en transformación, durante las reacciones químicas entre minerales y fluidos? ¿Cómo saber si las estimaciones que hemos realizado se acercan lo suficiente al fenómeno natural observado? ¿Se alejan las estimaciones realizadas del fenómeno natural observado? Esto plantea la problemática de cómo estudiar los procesos de transferencia de masa en sistemas abiertos *desde un punto de referencia válido* para una estimación más certera del comportamiento de los elementos químicos.

Los métodos anteriormente citados no consideran el hecho de que, para la evaluación de la transferencia de masa de los elementos, es necesario identificar cuál es el cambio de masa del sistema en su totalidad durante un proceso geoquímico en cuestión, teniendo en consideración que ese cambio de masa de sistema total es producto de combinaciones de adición y remoción de masa de los diferentes elementos. En una reacción química cualquiera se liberan cationes o se necesita de cierta cantidad de moles de ellos, por ejemplo, de sílice acuosa en la serpentinización de la forsterita, para generar los productos minerales:

Forsterita + Sílice Acuosa → Serpentina



De esta forma, la movilidad/inmovilidad de elementos estimada a partir de análisis químicos de concentración es una aproximación válida, pero insuficiente para determinar los cambios de masa reales o la existencia de un elemento conservado en su masa.

En efecto, observar cambios de concentración desde un elemento de referencia genera patrones engañosos cuando el elemento referencia es un elemento no-conservado en su masa ($dm \neq 0$), pues el cambio de concentración $-y$, por tanto, la estimación de movilidad- de un elemento que no considera su dependencia con el nuevo tamaño del sistema no representa correctamente los efectos reales del proceso geoquímico sobre las masas elementales. Resulta notorio que la selección del elemento de referencia, inmóvil o conservado, ha sido determinada sólo a partir de la concentración de los elementos -cuando el elemento cumple con cambio de concentración nulo $dC=0$ - o a partir de supuestos petrológicos: Incluso, las Razones de Elementos de Pearce, son altamente sensibles al elemento seleccionado como conservado (Tabla 1.1).

A diferencia de las metodologías utilizadas en las investigaciones anteriormente expuestas, este modelo determina el cambio de tamaño en masa del sistema como parámetro determinante del comportamiento del elemento o de los elementos utilizados como referencia de movilidad, por su conservación de masa, lo cual hasta ahora ha sido determinado a partir de supuestos.

La investigación presentada en esta tesis nace de la necesidad y posibilidad de reconocer el comportamiento de los elementos químicos en cuanto a transferencia de masa se refiere: adición, remoción o conservación. Una persona que sea entendida en la materia pensará: “esto ya está hecho”. Y en efecto, tendrá razón. Sin embargo, pese a todos los esfuerzos, persiste cierto grado de incertidumbre respecto de la cualidad de los elementos hasta ahora considerados como conservados: ¿Lo son realmente? ¿Cómo podemos asegurar que la selección del elemento conservado fue la correcta? Si no hay elementos conservados ¿Cómo saber cuál es el elemento más conservado durante un proceso geológico dado? Para sistemas distintos ¿Es siempre el(los) elemento(s) que se determina(n) como conservado(s)? ¿Que un elemento sea conservado en un sistema significa que lo sea en otro sistema análogo? ¿Cuán diferente es el resultado de estimación de transferencia de masa de los elementos cuando se cambia el elemento conservado de referencia?

El modelo Isomasas, presentado en esta Tesis Doctoral, tiene como punto de interés central generar un método de identificación de esa *referencia válida* y es considerado como el

aspecto más importante en lo que refiere a la cuantificación de la transferencia de masa. Así, el problema no es simplemente comparar esta metodología con las numerosas y muy útiles metodologías existentes en la literatura, sino más bien, pretende aportar a todas aquellas a otorgar certeza cuando se trata de identificar elementos conservados, que no muestran fácilmente dicho comportamiento a partir de análisis de concentración.

2 Hipótesis

Es posible identificar un grupo de elementos conservados en su masa para evaluar el comportamiento de variación de masa del resto de los elementos químicos de manera fehaciente, a partir de ecuaciones de balance de masas y concentración de elementos en rocas relacionadas genéticamente a través de procesos geoquímicos abiertos, incluso en aquellos sistemas que por simplificación y erróneamente han sido considerados químicamente cerrados.

3 Objetivo

Presentar y comprobar la metodología Isomasas con cuyo algoritmo computacional permite la identificación de elementos conservados a partir de los cuales realizar una cuantificación de transferencia de masa elemental y masa total en un sistema geoquímico abierto cualquiera.

Se demostrará que el comportamiento de los elementos estimado directamente a partir de su concentración puede generar interpretaciones erróneas e incluso de comportamiento inverso al real: elementos móviles serán en realidad conservados en su masa, mientras que, elementos concentrados pueden perder masa y elementos diluidos pueden ganar masa.

También se identificarán los comportamientos elementales para diferentes ambientes y procesos geológicos, comprobando o desacreditando la movilidad estimada para ciertos elementos, con el fin de dar un punto de partida a una nueva forma de comprender la estimación de transferencia de masa de elementos.

Finalmente, se demostrará que es posible calcular exactamente la cantidad de masa adicionada o removida en un sistema rocoso cuando se tiene acceso a la geoquímica de roca total de la roca precursora y de la roca secundaria o a la serie de rocas secundarias generadas a partir de aquella precursora.

4 Metodología

Tomando como base teórica la ecuación de balance de masas elementales, considerando diferenciales de concentración, de masa elemental y de masa total, se reformulará matemáticamente el análisis realizado por Gresens (1967) y más tarde por Grant (1986), para presentar la ecuación de Isomasas.

Con ella se generará un algoritmo computacional para identificar el elemento o los elementos conservados y con el cual calcular la transferencia de masa para casos de transferencia de masa sintéticos y para casos publicados. Se compararán los resultados geoquímicos con resultados mineralógicos y con interpretaciones de movilidad elemental de los estudios referenciados, para la estimación de cambio de masa total necesario para que un elemento en particular sea conservado en su masa.

Además, se realizará una extensiva recopilación bibliográfica de análisis de roca total para zonas con procesos geológicos reconocidos y descritos tanto geoquímica como mineralógicamente que permita utilizar el método aquí presentado con los resultados de las investigaciones publicadas, de tal forma de evaluar la capacidad de análisis e interpretación geológicamente razonable de procesos de transferencia de masa en sistemas naturales.

5 Consideraciones previas

La derivación de la metodología Isomasas proviene de cambios de perspectiva desde el cual analizar y modificar las ecuaciones lineares tradicionales propuestas hace más de cincuenta años por Randall L. Gresens (1967) con las modificaciones realizadas por James A. Grant (1986) y, más recientemente, por Hilchie (2018).

La bibliografía fundamental que da las bases teóricas de esta Tesis la componen: el análisis de transferencia de masas de Gresens (1967), la mejora de la anterior realizada por Grant (1986, 2005) y el punto de partida teórico establecido por Stanley (1990) y Madeisky y Stanley (1993) respecto del sistema roca mirado desde el punto de vista geoquímico molar y, particularmente, en masa.

Una vez descrita la nueva metodología propuesta a utilizar en esta Tesis, se esquematizará su eficacia a partir de la construcción sintética de análisis geoquímicos de roca total, de los cuales se conozca con exactitud cuáles elementos son adicionados, removidos o conservados en su masa. Se conocerá a priori la cantidad de masa transferida (dX) y la movilidad (dx) de los elementos, luego se determinará cuál(es) de ellos permite(n) calcular de mejor manera la transferencia de masa del resto.

En cuanto a la verificación de la metodología para casos reales, se recurrió a análisis químicos publicados referentes a procesos geológicos de distinta índole, esto es: generación de suelos, metamorfismo de enterramiento y de muy bajo grado, zonas de falla, procesos magmáticos endógenos y exógenos, y sistemas magmático-hidrotermales. Para cada caso se discutirá acerca de las coincidencias y diferencias respecto de los resultados de las investigaciones publicadas. Los elementos identificados como conservados varían para cada ambiente y condiciones.

Finalmente, se discutirá de las posibilidades de la utilización de este método con respecto de la metodología de las Razones de Elementos de Pearce y diagramas de discriminación geoquímica.

6 Isomasas

6.1 Origen y diferencias con la metodología de Isóconas

Isomasas refiere a la idéntica masa que debe tener un elemento que sea conservado en la roca durante un proceso geológico determinado. El nombre de esta metodología implica que se pretende encontrar aquel o aquellos elementos que cumplan estrictamente con la definición de conservación de masa. Este aspecto es relevante dado que, en numerosas publicaciones se indica de manera laxa la razón de seleccionar el elemento inmóvil o los elementos inmóviles a considerar como referencia de movilidad para el resto. Y a partir de esos resultados, medir cambios de masa totales, de densidad y de volumen (Grant, 2005; Mori et al., 2003; Durand et al., 2015; Halley, 2020; entre otros estudios).

Por ejemplo, Mori et al. (2003) determina, a partir del uso de líneas isocomposicionales (metodología de Grant, 2005), cuáles serán los elementos que consideran inmóviles: Al_2O_3 , TiO_2 , Cr, V y Sc.

Por otro lado, Jiang et al. (2018) hace referencia a diversos autores que suponen diferentes elementos inmóviles para perfiles de meteorización (Nesbitt, 1979, Ti; Kurtz et al., 2000, Nb y Ta; Ma et al., 2007, Th; Babechuk et al., 2015, descarta Th; en Jiang et al., 2018), quienes discuten la movilidad de los elementos durante procesos de generación de suelos a partir de diferentes protolitos, todos basados en la concentración de análisis de roca total. Jiang et al. (2018) seleccionan el Nb como supuesto inmóvil.

Magloughlin (1992), en su estudio de movilidad de elementos durante cataclasis, indica que se asume un comportamiento de masa constante para el elemento Al_2O_3 a partir del análisis de isóconas de Grant (1986).

Otras investigaciones determinan, a partir de evidencias petrológicas y observaciones termodinámicas, que elementos como el Ti y el Fe serían elementos inmóviles dado que a condiciones de baja temperatura no sería posible una verdadera disolución congruente del piso oceánico (Staudigel, 2014). De esa manera, no se esperarían grandes flujos de masa hacia afuera de la masa rocosa.

Estos ejemplos permiten establecer que la determinación de elementos inmóviles como referencia de transferencia de masa ha sido utilizada de acuerdo a evidencias de distinta índole, basadas en las características del ambiente geológico-geoquímico en particular, en la termodinámica y mineralogía, y de supuestos generales de comportamiento de elementos.

Para comprender las bases sobre las cuales se discuten las limitaciones del uso de análisis de roca total, consideremos la definición expuesta por Myron Best en su libro *Igneous and Metamorphic Petrology* (2003: pp.13), quien indica que “Un análisis de roca mediante sus elementos químicos, independiente de sus componentes minerales [...] se expresa en términos de concentraciones en peso sobre una base porcentual de especies químicas.” Lo cual significa que, el “peso” de cada elemento se referencia al 100% de la muestra. Esta última afirmación es el concepto de clausura, discutido en Nicholls (1988) y en Stanley (2006), el cual queda mejor ilustrado con la ecuación:

$$x_{ji} = \frac{X_{ji}}{S_j} \quad \text{Ec.1.1}$$

La cual indica que la concentración de un elemento i (de n elementos) en un sistema roca j está determinada por la masa total del sistema j (donde $S_j = \sum_1^n X_i$). De esta manera, S_j representa el “tamaño” del sistema. Cuando cambia algún o algunos x_{ji} , cambia también el tamaño del sistema y con él, entonces, cambian los pesos o porcentajes de concentración de cada componente por ser una variable intensiva. Esto es relevante para esta investigación pues todo proceso geológico abierto, ocurrido en diferentes ambientes, implica la posibilidad, altamente probable, de que el tamaño del sistema cambie una vez ocurrido dicho proceso. Los procesos de transferencia de masa a los cuales se recurre para describirlo dan cuenta de aquello (Giggenbach, 1984; Magloughlin, 1992; Durand et al., 2015; Dilles y John, 2020; Halley, 2020; entre otras investigaciones).

En la publicación de Dilles y John (2020) se presenta una revisión de la geología y el origen de los depósitos tipo Pórfido y Epitermales, incluyendo los depósitos de Vetas de Metales Base Cordilleranas (CBML, por sus siglas en inglés). Allí indican que los fluidos en sistemas magmático-hidrotermales cargan componentes químicos y los difunden hacia la roca de caja adyacente, intercambiando con ella componentes para crear nuevos minerales (estos minerales serán parte

de grupos o asociaciones minerales en equilibrio o desequilibrio) y modificando la composición del fluido.

Esa transferencia de masa ocurre en: a) ambientes de la corteza terrestre a mayor presión y temperatura (asociadas a profundidades de 2 - 10km, a 350 - 700°C), con comportamiento de rocas de caja nominalmente plástico (dúctil) y con mecanismos de hidrofracturamiento para el ascenso de fluidos hidrotermales profundos (Niveles de Pórfidos); b) hasta ambientes someros (< 1,5km) y de menor temperatura (300 - < 130°C), para fluidos derivados de magmas, pero más ampliamente mezclados con aguas meteóricas, donde el flujo de fluidos ocurre por buyancia termal y gradientes topográficos, a través de fallas, fracturas y permeabilidad de la roca de caja (Dilles y John, 2020). Esto es, cambios reológicos y de permeabilidad que permiten transferencia de masa a través de mecanismos de flujo difusivo a advectivo según las condiciones a las cuales se da el fenómeno, de mayor a menor temperatura, respectivamente.

La precipitación de minerales se debe al ascenso, la pérdida de calor y enfriamiento, lo cual genera cambios físico-químicos en el fluido, por alteración de roca de caja y por ebullición somera, y supersaturación de componentes químicos incluyendo metales base (Dilles y John, 2020). Los productos prioritarios de la alteración porfídica-epitermal por fluidos magmático-hidrotermales incluyen: alteración hidrolítica (ácida), reacciones de sulfidización-oxidación, adición y pérdida de álcalis y tierras alcalinas, y adición de metales de mena. En contraste, aquellos productos de alteración de fluidos no-magmáticos, incluye: metasomatismo de álcalis y tierras alcalinas y cuasi-isoquimismo (alteración propilítica, con excepción de la adición de volátiles, H₂O, CO₂ y especies de S; Dilles y John, 2020).

En ese sentido, Halley (2020) presenta metodologías rutinarias de exploración geoquímica para el mapeo de zonas de alteración y procesos magmáticos a partir de análisis químicos. En su estudio se emplea el concepto de inmovilidad de elementos recurrentemente, tanto para los mapeos magmático-hidrotermales como para procesos de meteorización. Gracias al avance en resolución, precisión y exactitud de las técnicas y metodologías de obtención de datos geoquímicos, es posible identificar comportamientos excluyentes de concentración de elementos según los casos a discriminar: fraccionamiento cristalino, presiones de fusión de minerales,

caracterización de minerales opacos oxidados, saturación de sulfuros en magmas, mapeo de zonas de alteración hidrotermal, entre otras (Halley, 2020).

Por otro lado, los procesos de transferencia de masa en ambientes de falla indican que existen relaciones entre los dominios generados durante cataclasis o milonitización de rocas (Magloughlin, 1992; Durand et al., 2015). La presencia de flujo de fluidos sería determinante y a diferente razón de fluido-roca, considerándose que la correcta estimación de cambio de masa (total y elemental) depende de la pertinente selección de los elementos considerados inmóviles (Magloughlin, 1992; Durand et al., 2015)

En ese sentido, el flujo de fluidos y precipitación de minerales en forma de vetillas, sumado a zonas de alteración en vecindades de vetillas, ha sido interpretado como la generación de gradientes composicionales a partir de la composición mineral original de la roca, de composición de fluidos cargando material desde grandes distancias, y las condiciones termodinámicas y físico-químicas de los procesos de interacción y equilibrio agua/roca, determinando la formación de gradientes de origen termal, físico-químico y/o composicional, lo cual propicia el metasomatismo y la formación de vetillas (Mori et al. 2003). Un impedimento a la transferencia de masa química en núcleos de falla (brecha y salbanda) sería una permeabilidad fuertemente reducida, para ambientes de reología dúctil y temperaturas superiores a 400°C, salvo que en procesos deformativos se alcancen condiciones de flujo viscoso (Billi et al. 2008).

Determinantes de la formación de gradientes de origen termal, físico-químico y/o composicional son, en resumen: composición mineral original de la roca, composición del fluido, y las condiciones termodinámicas y físico-químicas de los procesos de interacción y equilibrio agua/roca.

En zonas de corteza oceánica afectada por metamorfismo de enterramiento (Aguirre 1988) se considera determinante la presencia de agua de mar y fluidos de origen magmático-hidrotermales para la generación de minerales secundarios (Staudigel 2014). En esas condiciones, la presencia de permeabilidad primaria y secundaria y los cambios mineralógicos (isomorfismo y de relleno) dan cuenta de cambios volumétricos y de masa de los protolitos. Sumado a esto, Staudigel (2014) reconoce como una dependencia crítica la determinación de la composición química de la roca fresca de la cual provienen las muestras alteradas para estudiar el proceso de

alteración, el cual daría cuenta de la adición y remoción de elementos químicos determinados según una normalización a elementos (supuestamente) inmóviles.

El problema derivado a partir de todos estos casos es que, como lo indica Stanley (2005), la inmovilidad de elementos no puede ser determinada directamente a partir de concentraciones de elementos (proporciones), que no necesariamente serán proporcionales a la transferencia de masa ocurrida, dado que esas variables intensivas no dependen del tamaño del sistema, mientras que el espacio de variables de masa es un espacio de variables extensivas, en el cual si es posible determinar transferencia de masa (Stanley & Madeisky 1995).

Gresens (1967) y Grant (1986) y, más actualmente, Hilchie et al. (2018), hacen un análisis de lo que significa el término “isocomposicional” y sus implicancias en el volumen de la roca. Lamentablemente, son diversas las investigaciones que asumen que igual concentración de un elemento dado en la roca original y en la alterada, significa referencia válida para la estimación de movilidad del resto de los componentes, en un gráfico de composiciones de elementos en roca fresca versus alterada, la línea entre el punto de origen y de aquel elemento inmóvil que muestra igual composición en ambos sistemas, será la llamada isócona. Ganancias y pérdidas se estiman a partir de ella.

El problema recurrente radica en que el concepto de movilidad de los elementos genera interpretaciones erróneas respecto de la conservación de masa, pues es prácticamente imposible que todos los átomos de un elemento considerado inmóvil efectivamente no se muevan durante el proceso de reacción que opere en un sistema dado. La apertura de los sistemas cristalinos, la carga de metales -y cationes en general- en un fluido magmático-hidrotermal o meteórico o de aguas subterráneas, hace imposible que no entre o salga masa de todos los elementos químicos presentes en el sistema agua-roca.

Si consideramos la evaluación de movilidad de Grant (2005), y las sucesivas modificaciones de este método (Brimhall & Dietrich 1987; Potdevin & Marquer 1987; Potdevin 1993; Ague 1994; Baumgartner & Olsen 1995; Sturm 2003; Coelho 2006 y Lopez-Moro 2012) en conjunto con las propuestas metodológicas derivadas a partir de métodos estadísticos de *bootstrapping* de Ague & van Haren (1996), para la validación de movilidad dentro de un intervalo de confianza por medio de un análisis estadístico para distribuciones no-normales introducido primeramente por

Efron (1979). Junto con las metodologías propuestas por Chadwick *et al.* (1990) y Muir & Logan (1982), todas ellas se basan en la variable concentración para la evaluación de movilidad de los elementos.

Otros estudios de movilidad de elementos durante procesos diagenéticos se basan en los procesos de sustitución de elementos en estructuras cristalinas de minerales, estables o no, presentes en la roca (Preston *et al.* 1998 y referencias en esa publicación). La variación de concentración de elementos se contrasta con la petrología y mineralogía observada. En el mismo sentido, Dixon *et al.* (2012) relaciona movilidad de elementos con procesos de meteorización y tectónica a partir de la relación entre la concentración de elementos y los minerales presentes en la roca precursora y los niveles de suelo o saprolita.

Inclusive, la metodología propuesta por Nicholls (1988), seguida de Stanley y Russell (1989), para determinar Razones de Elementos de Pearce, determinan que un elemento conservado (en masa) se puede identificar de las siguientes maneras:

1. El comportamiento petrológico del elemento se puede utilizar para seleccionar aquellos conservados. Suelen ser los elementos incompatibles.
2. La razón entre las cantidades molares de dos elementos conservados será constante en una suite comagmática.
3. Un diagrama de razones de elementos que no se construye con un elemento conservado en el denominador mostrará una tendencia con un intercepto cercano a cero.

Cuando un par de elementos conservados se grafica como PER, se genera una relación composicional en la cual la pendiente de la recta es igual a la razón de las concentraciones de esos elementos con intercepto igual a cero. Esto puede ocurrir aun cuando los numeradores no sean elementos conservados debido al fenómeno de movilidad coherente (Stanley 2005), pero también puede ocurrir cuando la cantidad de masa transferida es idéntica sin existir comportamientos geoquímicos idénticos entre esos pares como será demostrado en esta Tesis.

En resumen, sólo el hecho de mantener constante la concentración de un elemento o de un grupo de elementos no es condición suficiente para determinar que ese elemento es

conservado y tampoco será correcto inferir que no se generó transferencia de masa de ese elemento durante un proceso de reacciones químicas.

La investigación realizada en esta Tesis demostrará cómo, pese a esta dificultad, es posible en la mayoría de los casos establecer cuál o cuáles elementos son efectivamente conservados, es decir, cuya masa no varía cuando en un fenómeno geológico cambia el tamaño del sistema producto de las variaciones de masa del resto de los elementos.

Es allí donde radica la diferencia con su predecesor (Isoconas): el método de Isomasas busca en primer lugar cuál o cuáles elementos son realmente conservados y, luego de esa verificación, realiza una estimación de la adición o remoción de masa para cada elemento.

6.2 Enunciación del método de Isomasas

Gresens (1967) propuso el cálculo del efecto de transferencia de masa sobre la composición como el resultado del cambio de volumen y composicional en un sistema n -dimensional de componentes. Grant (1986) renovó la metodología de Gresens, generando el método isocomposicional: isóconas. El cual ha sido mejorado matemática y gráficamente según los mejores factores de escala utilizados para la construcción de la isócona (Baumgartner y Olsen 1995; Mukherjee y Gupta 2007).

El enfoque de Grant (1986) documenta la relación entre masa y composición cuando se considera la movilidad de elementos en cuanto concentración constante. A partir de su enfoque se postula aquí un nuevo método para estimar la transferencia de masa real durante los procesos geoquímicos en sistemas abiertos, con la diferencia de suponer un cambio de masa total del sistema diferente de cero.

La formulación de Grant (1986) es construida a partir de la ecuación fundamental de transferencia de masa:

$$X_{di} = X_{pi} + dX_i \quad 1.2$$

donde X_{di} representa la masa del elemento i (de n elementos) en la muestra de roca secundaria (o alterada), X_{pi} representa la masa de la especie i en la muestra de roca precursora no alterada (primaria, protolito, u original) y dX_i representa el cambio de masa infinitesimal del elemento i -ésimo. Tomando S_j como la masa total en el sistema precursor ($j = p$, con $S_p = \sum_1^n X_{pi}$) y

secundario ($j = d$, con $S_d = \sum_1^n X_{di}$), Grant (1986) factoriza la Ecuación 1.2 por $\frac{1}{S_p} * \frac{S_p}{S_d}$, por lo tanto:

$$\left(\frac{S_p}{S_d} * \frac{X_{pi}}{S_p}\right) + \left(\frac{S_p}{S_d} * \frac{dX_i}{S_p}\right) = \frac{X_{di}}{S_d} \quad 1.3$$

Como $C_i^j = \frac{m_i^j}{M^j}$ es la concentración de cualquier elemento químico i en el sistema considerado j , tenemos la siguiente identidad:

$$x_{di} = \frac{S_p}{S_d} \left(x_{pi} + \frac{dX_i}{S_p}\right) \quad 1.4$$

A partir de esto último, Grant (1986, 2005), Baumgartner y Olsen (1995), Coelho (2006) y Mukherjee y Gupta (2007), entre otros, han considerado la siguiente identidad:

$$\frac{dX_i}{S_p} = dx_i \quad 1.5$$

lo cual es cierto sólo para los sistemas de alteración donde la cantidad de masa total precursora y secundaria son iguales: $S^p = S^d$. Esto no es necesariamente cierto en un sistema geoquímico abierto. Como $x_{pi} = \frac{X_{pi}}{S_p}$, un cambio infinitesimal en la concentración de un componente en realidad es:

$$dx_i = \frac{dX_i}{S_p} - \frac{X_{pi}}{S_p^2} dS, \quad 1.6$$

función de: (i) la masa del elemento i -ésimo en la muestra de roca precursora, (ii) del cambio de masa del elemento i -ésimo y (iii) del cambio de masa total del sistema (Russell y Stanley 1990). Expresión cierta para procesos geoquímicos abiertos o de masa total variable ($dS \neq 0$).

Retomando a Grant (1986), para un elemento conservado teórico k ($dX_k = 0$, el cual para Grant sería inmóvil, $dx = 0$) la ecuación 1.4, da lugar a la ecuación de la isócona (Grant 1986):

$$x_{dk} = \frac{S_p}{S_d} x_{pk} \quad 1.7$$

Esta formulación teórica estima la movilidad del elemento químico a partir de la distancia a la línea definida por la pendiente de la isócona $(\frac{S_p}{S_d})$, que es la línea que une el punto de origen con las coordenadas del elemento hipotéticamente inmóvil (x_{pk}, x_{dk}) en un gráfico que muestra la concentración de la roca alterada versus la concentración de la roca inalterada (Grant 1986).

Esta formulación implica que todos los elementos químicos graficados en la línea isócona deben ser inmóviles. Sin embargo, cabe la posibilidad que algún elemento químico se trace sobre la isócona incluso si es movilizado durante un proceso geoquímico particular, debido a un cambio de masa elemental dX_i igual a $\frac{x_{pi}}{S_p} dS_p$, lo que implicaría que $x_{pi} = x_{di}$. Notar que $dS \neq 0$ en la Ecuación 1.6.

En esta Tesis se propone una redistribución de los términos en las fórmulas de Grant obteniendo una *estimación de masa del sistema secundario* (S_{dk}) para un elemento teóricamente conservado en su masa (k). El nuevo tamaño del sistema después de ocurrido el proceso geoquímico será:

$$S_{dk} = \frac{x_{pk}}{x_{dk}} \times S_p \quad 1.8,$$

Consecuentemente, es posible estimar la masa de cada elemento químico en el sistema secundario:

$$X_{di} = S_{dk} \times x_{di} \quad 1.9$$

Entonces ahora se dispone de una estimación de la masa del sistema secundario en función de un valor inicial de masa del sistema precursor, digamos 100g, la cual determina a su vez los valores de X_{pi} en gramos para todo i .

Entonces, el método de Isomasas corresponde a la identificación del elemento o los elementos que cumplan, en principio, con la condición $X_{di} - X_{pi} = dX_i = 0$, cuando se cuantifican las masas elementales en el sistema secundarios (X_{di}) a partir de una estimación de la masa total del sistema secundario (S_{dk}) para un elemento teóricamente conservado ($dX_k = 0$), el cual será conservado

6.3 Elementos adicionados, elementos removidos y elementos conservados.

Los elementos químicos adicionados al sistema ($dX_i > 0$), subestiman la masa del sistema alterado respecto a la misma estimación del elemento conservado ($S_{di} < S_{dk}$). Los elementos químicos que sean removidos del sistema ($dX_i < 0$) sobreestiman esa masa ($S_{di} > S_{dk}$). Solo el elemento verdaderamente conservado (o cada elemento conservado) estimará correctamente la masa del sistema alterado. Hasta aquí, merece el texto una ejemplificación.

El modelo conceptual graficado en la Figura 6.1 es una simplificación de un sistema geoquímico abierto, en el cual se considera una roca sintética parental cuya masa inicial es de $S_p=100g$, correspondiente a 50g del elemento 1 y 50g del elemento 2. La concentración de estos elementos es, por tanto, de 50%wt para cada uno.

Se generan dos casos sintéticos, el **Caso 1** es un proceso geoquímico de disminución de masa, generado por la pérdida de 10g del elemento 1, produciéndose una roca alterada con concentraciones de 44,4%wt y 55,6%wt. El elemento conservado será el elemento 2 y la masa total del sistema secundario será 90g. Debido al problema de clausura, el elemento 2 parece concentrarse, cuando en realidad su masa se mantiene constante, mientras que el elemento 1 se diluye, pero parece subvalorarse su pérdida de masa.

Al aplicar la metodología de Isomasas considerando el elemento 1 como el elemento conservado, se puede observar que la masa estimada del sistema secundario o alterado no corresponde a la verdadera, más bien la sobreestima ($S_{d1} = 112,5g > 90,0g = S_d$). Caso contrario, al aplicar la metodología considerando el elemento 2 como conservado, la estimación de masa total del sistema secundario o alterado es la correcta ($S_{d2} = 90,0g = S_d$).

El **Caso 2** corresponde a un aumento de masa del sistema, la concentración inicial es la misma que para el Caso 1, pero esta vez, debido al aumento de masa del elemento 1 en 10g, se tiene una roca secundaria o alterada con concentraciones de 54,5 y 45,5 %wt para los elementos 1 y 2, respectivamente. El elemento conservado es el elemento 2 y la masa secundaria corresponde a 110g.

Sólo al considerar el elemento 2 como conservado se generan resultados coherentes según la metodología de Isomasas. Esto es, la masa estimada para el sistema secundario es de $S_{d1} = 91,7g < S_d$ para el elemento 1 y de $S_{d2} = 110,0g = S_d$ para el elemento 2.

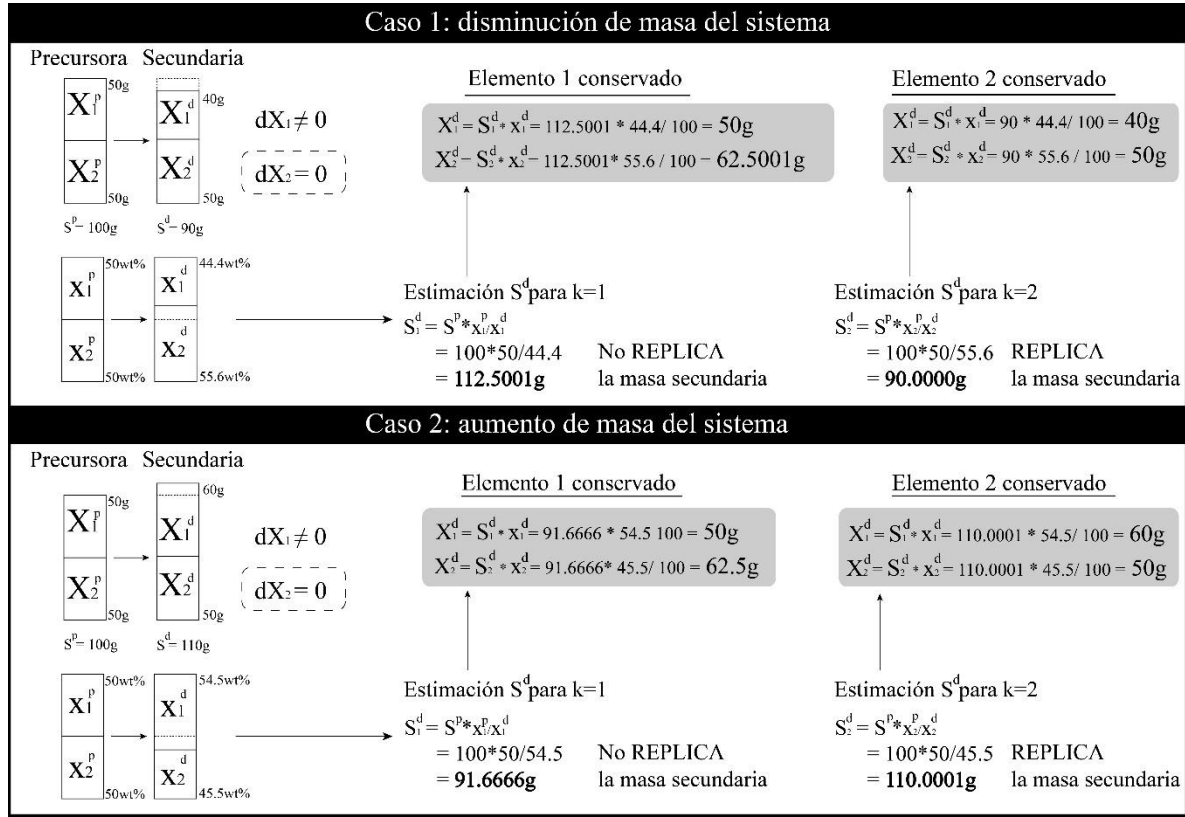


Figura 6.1. Modelo Isomasas conceptual para la estimación de transferencia de masa a partir de un sistema precursor de dos elementos químicos 1 y 2. Caso 1: disminución de masa del sistema por remoción de 10g del elemento 1. Caso 2: aumento de masa del sistema por adición de 10g del elemento 1. En ambos casos el elemento 2 es el conservado en su masa.

Notar que, en cada caso, después de estimar la masa del sistema secundario (S_{dk}), se calcula la masa elemental en el sistema secundario (X_{di}) y únicamente cuando el elemento considerado es verdaderamente conservado las estimaciones son correctas. Es decir, se confirma que $dX_k = 0$. Si la estimación de S_{dk} no es la cierta, entonces $dX_k \neq 0$, aún cuando haya sido considerado como elemento supuestamente conservado.

Notar además que, en cada caso, se cumple la condición de sobreestimación de masa secundaria total para elementos removidos y subestimación de masa secundaria total para elementos adicionados.

Como último criterio para seleccionar el grupo de elementos conservados, se propone:

1. Que cumplan con la condición $dX_i = X_{di} - X_{pi} = 0$.
2. Que minimicen el error propagado relacionado con el cambio de masa individual ($err. dX_i \sim 0$).
3. Que minimicen el error al estimar la masa del sistema alterado ($err. S_d \sim 0$).
4. Que las razones de estimaciones de la masa del sistema secundario (S_{dm}) de una serie de muestras ($m = 1:n$) secundarias tenga un alto grado de correlación en una línea de pendiente igual a 1 e intercepto lo más cercano a 0.

El cuarto criterio se explicará más adelante. Por lo pronto, se presenta un ejercicio sintético más extendido.

6.4 APLICACIÓN DEL MÉTODO ISOMASAS: ejemplo sintético.

A continuación, se presenta un caso sintético representativo de un proceso geoquímico abierto de transferencia de masa, con el fin de demostrar la exactitud con la cual el método de Isomasas es capaz de reconocer los cambios de masa totales y la existencia de elementos conservados. Los datos aquí generados fueron procesados en la rutina de recurrencia generada como código de MatLab[®] detallada en los anexos.

Supongamos que hay una muestra de roca con una composición química “precursora”, medida en porcentaje en peso y partes por millón, transformada en masa (gramos), esta muestra representa 100g de material. Se generan variaciones de adición y de remoción de material sobre esa composición, determinando la composición en masa de las muestras de roca sintéticas secundarias (A1–A7) como se muestra en la Tabla 6.1.

Notar que, permitiendo que el TiO_2 y el Zr permanezcan constantes, se generan artificialmente: muestras con remoción general de masa (A1-A3) y muestras con adición general de masa (A4-A7). La diferencia en masa (dS) se determina con respecto a la masa total de la muestra precursora.

Tabla 6.1: Composición en masa (g) y en concentración para las muestras sintéticas precursora y secundarias. S_j representa la masa total de cada muestra.

	Masa (g)											Masa (g)					Total (g)	dS_k
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Sc	Li	Rb	Sr	Zr	S_j	$S_d - S_p$
Precursor	54.38	1.03	17.72	4.56	4.28	0.23	4.84	6.96	3.83	1.91	0.20	0.00041	0.00768	0.05065	0.00996	0.00830	100.00	0.00
A 1	50.00	1.03	16.00	4.00	4.00	0.10	4.00	6.00	3.00	1.00	0.10	0.00035	0.00600	0.04000	0.00800	0.00830	89.29	10.71
A 2	45.00	1.03	14.00	3.00	3.00	0.08	3.00	3.00	2.00	0.80	0.08	0.00038	0.00500	0.03500	0.00700	0.00830	75.04	24.95
A 3	40.00	1.03	12.00	2.50	2.50	0.06	2.50	2.50	1.50	0.60	0.06	0.00035	0.00400	0.03000	0.00600	0.00830	65.30	34.70
A 4	60.00	1.03	19.00	5.00	5.00	0.30	5.50	8.00	4.50	2.50	0.30	0.00050	0.00800	0.06000	0.01100	0.00830	111.22	-11.22
A 5	65.00	1.03	20.00	6.00	6.00	0.40	6.00	9.00	5.00	3.00	0.40	0.00060	0.00900	0.07000	0.01200	0.00830	121.93	-21.93
A 6	70.00	1.03	21.00	7.00	7.00	0.50	7.00	10.00	6.00	4.00	0.50	0.00070	0.01000	0.07500	0.01300	0.00830	134.13	-34.14
A 7	75.00	1.03	22.00	8.00	8.00	0.60	8.00	11.00	7.00	5.00	0.60	0.00080	0.01100	0.08000	0.01400	0.00830	146.34	-46.34
	wt. (%)											ppm					Total (%)	
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Sc	Li	Rb	Sr	Zr		
Precursor	54.38	1.03	17.72	4.56	4.28	0.23	4.84	6.96	3.83	1.91	0.20	4.13	76.80	506.46	99.63	83.03	100.00	
A1	56.00	1.15	17.92	4.48	4.48	0.11	4.48	6.72	3.36	1.12	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
A2	59.97	1.37	18.66	4.00	4.00	0.11	4.00	4.00	2.67	1.07	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
A3	61.26	1.57	18.38	3.83	3.83	0.09	3.83	3.83	2.30	0.92	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
A4	53.95	0.92	17.08	4.50	4.50	0.27	4.95	7.19	4.05	2.25	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
A5	53.31	0.84	16.40	4.92	4.92	0.33	4.92	7.38	4.10	2.46	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
A6	52.19	0.77	15.66	5.22	5.22	0.37	5.22	7.46	4.47	2.98	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
A7	51.25	0.70	15.03	5.47	5.47	0.41	5.47	7.52	4.78	3.42	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

A partir de esas cantidades de masa se calcula la composición química de roca total para cada muestra en porcentaje en peso. El total calculado al 100 % considera el total de los componentes, incluidos los elementos trazas. Este es el tipo de resultado que obtenemos cada vez que realizamos un análisis de roca total. Lo que no necesariamente suma hasta el 100 % y no necesariamente incluye el peso aportado por los elementos trazas.

Como se puede ver, los resultados de la Tabla 6.1 indican el enriquecimiento y el empobrecimiento de elementos de manera aleatoria y no necesariamente coherente con la adición/remoción de masa absoluta generada artificialmente, la misma situación se puede observar para los elementos trazas (Figura 6.2). Notar que los elementos conservados (TiO_2 y Zr) mantienen un enriquecimiento casi lineal con la concentración de sílice.

Aplicando la metodología Isomasas considerando los elementos TiO_2 y Zr como elementos conservados y la muestra precursora como tal, se obtienen resultados coherentes con los cambios de masa sintéticos. El resumen de los resultados obtenidos por programación en Matlab® se despliegan en la Tabla .

Como se puede ver, la programación realizada en Matlab® indica cuáles elementos son los *más adicionados*, *más removidos* y si existe o no un elemento *conservado*, indica inclusive cuál es el elemento *más conservado* cuando ninguno cumple con el criterio de diferencia de masa nula, pero que muestra un $dX_i \sim 0$.

Notar que, en la Tabla , las estimaciones del tamaño del sistema alterado (S_{dk}) son iguales a las masas totales de los sistemas secundarios generadas artificialmente (Tabla). Además, tanto Zr como TiO_2 se reconocen mutuamente como elemento conservado (o más conservado).

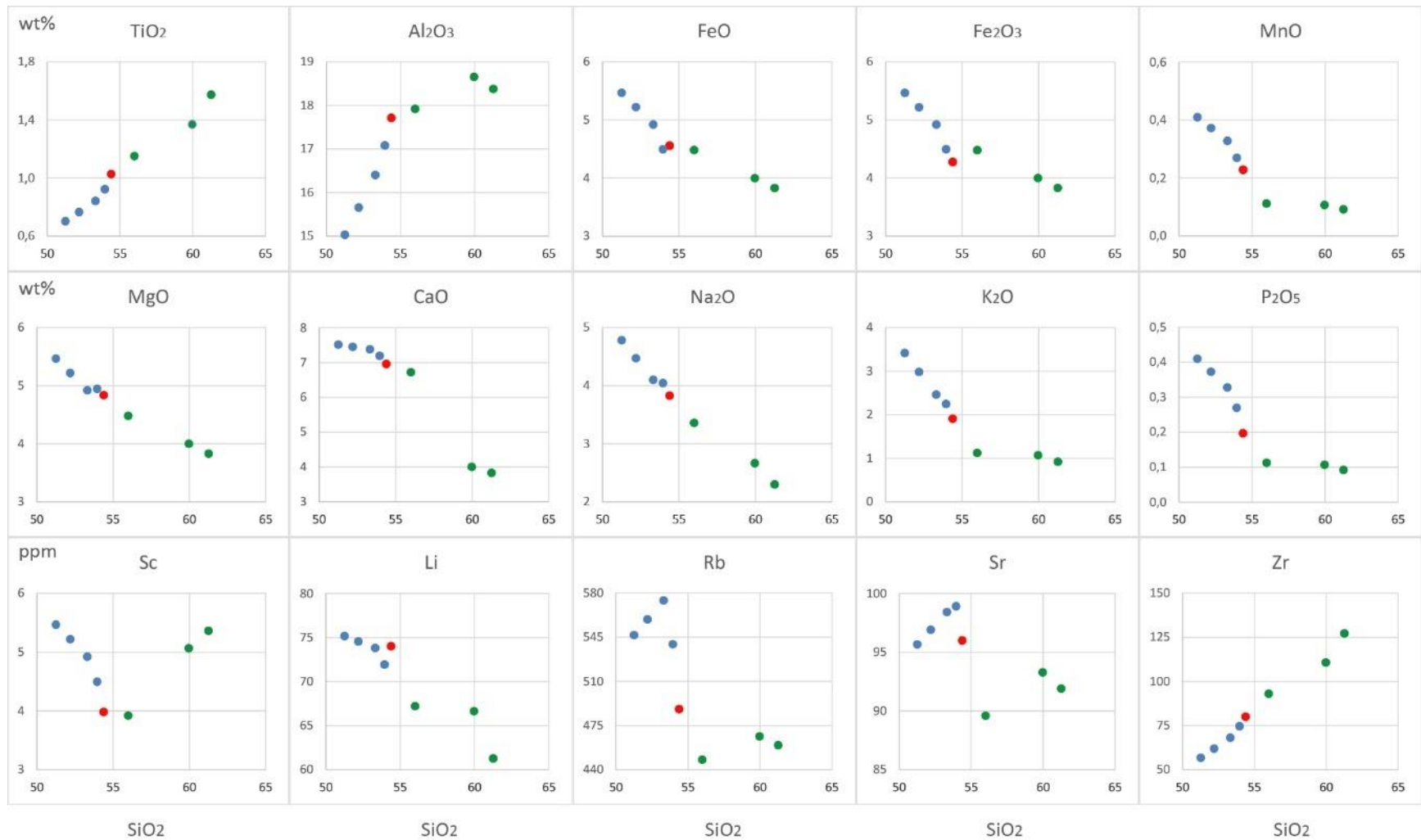


Figura 6.2. Distribución de porcentaje en peso de óxidos (*wt%*) y en partes por millón (*ppm*) de elementos trazas para muestras sintéticas con incorporación de masa en azul (dilución de sílice) y remoción de masa en verde (concentración de sílice). Muestra precursora en rojo. En los valores de abscisa SiO_2 *wt%*.

Tabla 6.2: Resultados numéricos de Isomasas para TiO₂ y Zr como elementos conservados en caso sintético.

Resultados Isomasas a partir de muestra Precursora <i>d</i>			Elemento inicialmente considerado como conservado <i>k</i>													
			TiO ₂							Zr						
Proceso	<i>j</i>		Remoción de masa			Adición de masa				Remoción de masa			Adición de masa			
Muestra secundaria			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Masa secundaria estimada	S_{dk}		89.30g	75.05g	65.29g	111.21g	121.92g	134.13g	146.34g	89.29g	75.05g	65.29g	111.21g	121.92g	134.13g	146.34g
Diferencia de masa	dS_k		-10.70g	-24.95g	-34.70g	11.21g	21.92g	34.13g	46.34g	-10.70g	-24.95g	-34.70g	11.21g	21.92g	34.13g	46.34g
Elemento mayor	más adicionado	$dX_i \gg 0$	n.d.	n.d.	n.d.	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	n.d.	TiO ₂	n.d.	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅
Elemento trazas			n.d.	n.d.	n.d.	Sc	Sc	Sc	Sc	n.d.	n.d.	n.d.	Sc	Sc	Sc	Sc
Elemento mayor	menos adicionado	$dX_i > 0$	n.d.	n.d.	n.d.	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	n.d.	TiO ₂	n.d.	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Elemento trazas			n.d.	n.d.	n.d.	Li	Li	Li	Sr	n.d.	n.d.	n.d.	Li	Li	Li	Sr
Elemento mayor	más removido	$dX_i \gg 0$	MnO	MnO	MnO	TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂	MnO	MnO	MnO	n.d.	TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂
Elemento trazas			Li	Li	Li	Zr	Zr	Zr	Zr	Li	Li	Li	Zr	Zr	Zr	Zr
Elemento mayor	menos removido	$dX_i > 0$	TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	SiO ₂	n.d.	TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂
Elemento trazas			Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr
Elemento mayor	conservado	$dX_i = 0$	n.d.	n.d.	TiO ₂	n.d.	TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂	n.d.	TiO ₂	n.d.	n.d.	TiO ₂	n.d.	n.d.
Elemento trazas			n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	Zr	n.d.
Elemento mayor	más conservado	$dX_i \sim 0$	TiO ₂	TiO ₂	n.d.	TiO ₂	n.d.	n.d.	n.d.	TiO ₂	n.d.	TiO ₂	Al ₂ O ₃	n.d.	TiO ₂	TiO ₂
Elemento trazas			Zr	Zr	Zr	Zr	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Zr

n.d.: no determinado.

6.5 SERIE DE MUESTRAS SECUNDARIAS: Razones de Masa de Sistemas Secundarios.

Cuando se dispone de una serie de muestras secundarias cogenéticas, cuya muestra precursora es conocida y común para todas, la selección del elemento o de los elementos conservados es más compleja. Para la correcta selección del elemento conservado o los elementos conservados se plantea la siguiente metodología.

Para todo elemento químico es posible estimar un S_{di} , aun cuando el elemento i en cuestión no sea conservado. Sólo cuando el elemento i es conservado $i = k$.

Al aplicar el modelo sobre la serie de muestras, para cada uno de los elementos disponibles, es posible generar múltiples estimaciones de la masa total de cada muestra secundaria $S_{dn.i}$, donde n representa cada muestra de la serie (1: n). Por ejemplo: en el caso sintético anterior, la estimación de la masa de la muestra A7 para el Sc, sería $S_{dA7.Sc}$, mientras que la estimación de masa de la muestra A7 para el MgO, sería $S_{dA7.MgO}$.

Se llamará *Razón de Masa de Sistema Secundario* a la razón entre una estimación de masa de sistema secundario a partir de un elemento sobre aquella estimada a partir de otro. En términos generales, esto se escribe como:

$$\frac{S_{dn.i}}{S_{dn.k}}$$

Se enuncia, entonces, el cuarto criterio de selección de elementos conservados: un par de elementos hipotéticamente conservados x e y , serán conservados si sólo si la correlación lineal de todas las razones de masa de las muestras secundarias en un gráfico $\frac{S_{dn.i}}{S_{dn.x}}$ vs $\frac{S_{dn.i}}{S_{dn.y}}$ es igual o cercana a 1, con pendiente de recta igual a 1 e intercepto igual o cercano a 0, para todo elemento i . La Figura 6.3 describe gráficamente esta situación. Notar que $\frac{S_{dn.y}}{S_{dn.x}} = \frac{S_{dn.x}}{S_{dn.y}} = 1$, puesto que, si ambos elementos son conservados, entonces las estimaciones serían idénticas.

Esto significa que todas las estimaciones de masa total de cada sistema secundario en la serie para cada elemento, normalizadas a aquellos valores de $S_{dn.-}$ estimados por x e y , serán razones iguales para cada n . Por lo tanto, se dirá que la estimación de masa de cada sistema secundario es acertada sólo cuando se realiza para los elementos x - e y -conservados. Cualquier

otra estimación de masa de sistema secundario no corresponde a un cambio de masa real dado el proceso geoquímico particular.

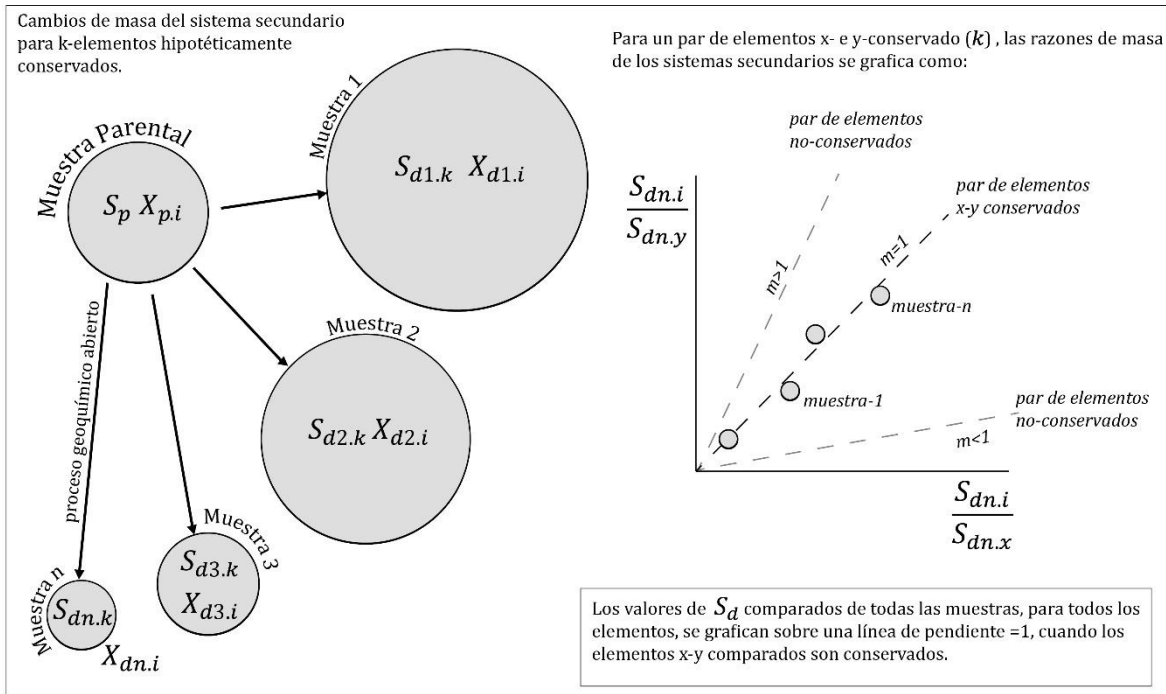


Figura 6.3. Modelo conceptual para la determinación de un par de elementos conservados (x, y) a partir de la correlación de las Razones de Masa de Sistemas Secundarios en una serie de muestras cogenéticas.

En el caso sintético aquí expuesto, se tiene que existen pares de elementos cuya correlación de las razones de masa secundarias es alta, pero con pendiente diferente de 1 o con mayor dispersión en los datos. La Figura 6.4 muestra gráficamente la correlación de las razones de masa de sistemas secundarios para los pares 'TiO₂-Zr', TiO₂-Al₂O₃', 'TiO₂-Sr' and 'TiO₂-P₂O₅' para todas las muestras A1-A7 del caso sintético.

El par de elementos 'TiO₂-Zr' muestran estimaciones idénticas de los tamaños de los sistemas secundarios y, por lo tanto, las razones de masa de los sistemas secundarios son idénticas. Esto no sucede cuando se comparan las razones de masa de los sistemas secundarios de otros elementos no-conservados con las estimaciones del TiO₂-conservado. Las estimaciones del tamaño de las muestras con remoción de masa provenientes de elementos no conservados son mayores que las estimaciones del TiO₂. Las estimaciones del tamaño de las muestras con adición de masa, son menores. Esto es particularmente evidente para el par 'TiO₂-P₂O₅'.

Notar que, cuando se trata de la razón de estimación de masa de los sistemas secundarios a partir del MnO: $\frac{S_{dn.MnO}}{S_{dn.P2O5}} < 1$ y $\frac{S_{dn.MnO}}{S_{dn.TiO2}} < 1$, para $n = A1, A2$ y $A3$. Esto implica que cuando el P2O5 es utilizado como elemento hipotéticamente conservado, el MnO se verá como elemento adicionado. Lo cual es falso en esas muestras.

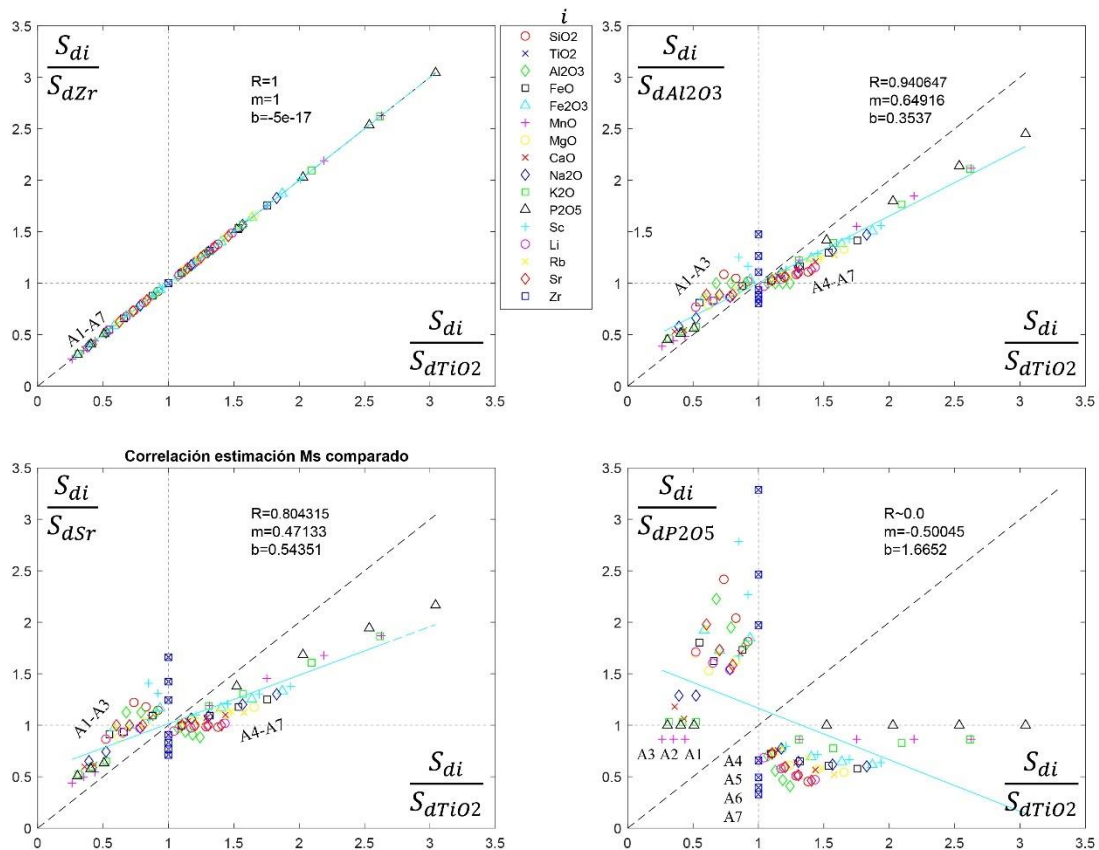


Figura 6.4. Coeficiente de correlación (R), pendiente de las razones de masa de sistemas secundarios (m) e interceptos (b) para los pares de elementos 'TiO₂-Zr', 'TiO₂-Al₂O₃', 'TiO₂-Sr' and 'TiO₂-P₂O₅' obtenidos para las muestras sintéticas A1-A7.

6.6 REPRESENTACIÓN GRÁFICA de la modelación Isomasas.

La modelación Isomasas se puede graficar como la cantidad relativa de transferencia de material ($\frac{dX_i}{X_{pi}} = \% dr_i$): cuánto es el cambio de masa respecto de la masa elemental inicial (en la roca precursora) en términos porcentuales. Esta razón es, lógicamente, igual a cero para el elemento conservado. Para elementos adicionados la cantidad relativa de transferencia de material será >0, para elementos removidos será <0, limitado a -100 %. Por conveniencia, se grafica en la vertical el porcentaje de adición (>0) o de remoción (<0) de cada elemento, en la

horizontal se despliegan los elementos desde los más removidos, de toda la serie de muestras cogenéticas, a la izquierda hasta los más incluidos a la derecha.

Para el ejemplo sintético, la Figura 6.5 presenta los resultados para elementos mayores y trazas, respectivamente. La muestra A3 es la que entrega el orden de los elementos por resultar con mayor cantidad de masa removida de MnO, el resto de las muestras se despliegan según ese orden. Los resultados de Isomasas son análogos a los cambios de masa generados en la Tabla 6.1.

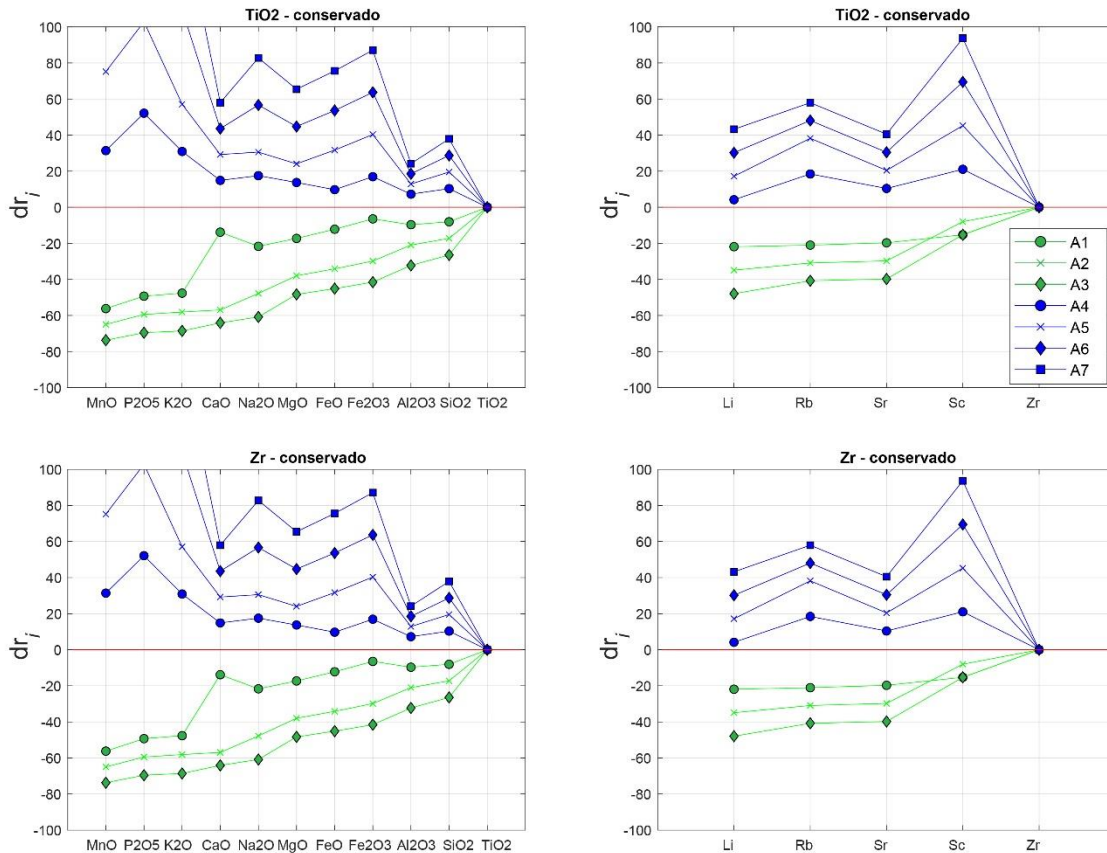


Figura 6.5. Cantidad relativa de transferencia de material para elementos mayores y trazas cuando TiO_2 y Zr son respectivamente considerados como conservados para el set de muestras sintético A1-A3 (remoción de masa) y A4-A7 (adición de masa).

Con este ejemplo sintético se demuestra que es posible identificar aquellos elementos que no presentan cambio de masa durante algún proceso geoquímico abierto en general. Se demuestra además que, a partir de análisis de roca total, es posible identificar los cambios de masas de todos los elementos, esto, siempre y cuando se disponga de los datos de geoquímica del sistema precursor y del secundario.

Además, se muestra cómo, para una serie de muestras relacionadas genéticamente con la misma muestra precursora, es posible identificar cuál es el cambio de masa real de cada

muestra, si y solo si los elementos considerados son efectivamente conservados en su masa durante dicho proceso.

En adelante se aplicará el método a casos reales y se discutirán los resultados publicados con los obtenidos con este nuevo método.

7 Aplicación del Método a casos reales.

En la literatura se encuentran disponibles numerosos casos de alteración de química original de rocas por causa de diversos fenómenos geológicos. En este sentido, los casos a los cuales se le aplica el método de Isomasas corresponden a sistemas geoquímicos abiertos. Se seleccionaron casos de los cuales se dispusiera de geoquímica de roca total con la mayor cantidad de elementos, en los cuales se discutiera su movilidad y se considerara la existencia de elementos conservados. Estos se presentarán según procesos geológicos similares.

Se presenta como parte de este capítulo el artículo presentado a la revista Chemical Geology para su publicación.

The Isomass Method: Identifying conserved elements in geochemically open geological processes.

Calderón-Díaz, S.E.^{a*}, Townley^a, B. and Stanley, C.R.^b

^a*Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile. Postal code: 8320000.*

^b*Department of Earth & Environmental Science, Acadia University, 12 University Ave., Wolfville, Nova Scotia, Canada.*

**Corresponding author: Tel. +56-9-88318955. E-mail address: sergio.ernesto.calderon.diaz@gmail.com Orcid ID#: 0000-0002-4410-478X.*

Keywords: Isomass, conserved element, material transfer, concentration, closure.

ABSTRACT

The Isomass method identifies conserved elements in geochemically open geological processes even when the parent rock is not known. It estimates changes in system size for a specific element that is assumed to be conserved, and thereby calculates the amount of material transfer for each of the other elements. Using the calculated amount of material transfer or daughter system mass ratios, additional conserved elements can be identified, if present. If the assumed conserved element is in fact not conserved, then its estimated elemental mass change will depart from zero and be incorrect. The Isomass method was used to evaluate a set of synthetic samples whose elemental concentrations derived after mass

additions and losses were assigned to daughter rocks. The Isomass method was also applied to three real datasets that examine soil formation, olivine fractionation in a komatiitic lava, and hydrothermal metasomatism. The Isomass method has proven capable of: (1) determining which element(s) is(are) conserved in a variety of geological environments; (2) identifying which other elements were conserved, added or removed; (3) calculating the amount of mass change that occurred in each rock; and (4) providing a measure of the extent of the conserved character of elements through a relative material transfer sum of squares calculation. This model illustrates that the whole rock compositions of parent and daughter samples do not represent the actual mass changes that occurred during geochemically open geological processes, as conserved elements may appear enriched or depleted, and non-conserved elements have concentrations that do not reflect the actual material transfers that took place. Consequently, the Isomass method is a proper and valuable tool for the identification of conserved elements and the investigation of material transfer in rocks.

1. INTRODUCTION

Over the last seventy years, material transfer processes have been a major issue in a variety of geological problems. In alteration systems, calculation of the amount of element mobility has been the subject of many studies (Gresens 1967; Grant 1986; Giggenbach 1984; amongst others). The main limitation in these studies has been theoretical because the mobility of elements is estimated directly from element concentrations. Unfortunately, this is difficult because of the closure condition (Pearce 1968; Russell & Nichols 1988; Russell & Stanley 1990), and because the concentration variations are dependent not only on the amount of material transfer of each element, but also upon the change in the size of the system.

Chemical material transfer processes are responsible for the formation of most mineral deposits, and are also important in volcanic, plutonic, metamorphic, sedimentary, and metasomatic phenomena. The effect of these processes on the lithogeochemistry of rocks in these environments, among others (*e.g.*, Brinkley 1946, 1947; Giggenbach 1984; Ghiorso 1985; Karpov *et al.* 1997; and references therein). The main objective of these studies was the characterization of the nature of material transfer to provide constraints on the source of elements added to or removed from these rocks, and to better understand the fluid-mineral equilibria that drove the material transfer.

Lithogeochemical studies in mineral exploration have stressed the identification and practical use of immobile elements (MacLean & Barrett 1993; and references therein) during hydrothermal alteration and metasomatism (Maclean 1990). MacLean and Kranidiotis (1987) claim that a pair of immobile elements should lie on a well correlated (*i.e.* $R > 0.9$) linear trend, ideally passing through the origin in a system derived from a single protolith (or precursor; MacLean & Barrett 1993), or passing through the error ellipses of the data (Stanley & Russell 1989). The trend away from the precursor composition is the result of material transfer addition (dilution; to lower concentrations) or material transfer loss (enrichment; to higher concentrations) element concentrations (intensive variables) in the system (see Fig. 1 & Fig. 4, MacLean & Barrett 1993).

More recently, Guo *et al.* (2009) and Hilchie *et al.* (2018), have proven that the Isocon method can be transformed, standardized, and compared with PER analysis to reveal

stoichiometrically meaningful material transfer behaviors. Although, their approaches are related to the Isomass method, this contribution describes how to confirm conserved behavior amongst elements with potential immobility (Russell & Nichols 1988; Pearce 1968; Vistelius & Sarmanov 1961).

To prove the conserved behavior of any element, we present the Isomass method applied to a set of synthetic samples that allow quantification of geochemical material transfer in a hydrothermal alteration environment. This model evaluates the whole rock concentrations of potentially conserved elements in parent and daughter samples. Starting from the mass balance equation of Grant (1986), we derive an equation that quantitatively estimates the amount of mass for every (conserved or added/removed) element in the system. The main problems associated with this method are determining: (a) which samples are related to each other via material transfer (are cogenetic; Russell & Nichols 1988), (b) which of the parent samples represents the 'best' original rock composition, and (c) how analytical error affects the above procedures. We also have applied the Isomass method to datasets from a variety of geological environments to illustrate how well the method identifies immobile or conserved elements in published data.

2. THEORY: MASS TRANSFER AND THE ISOMASS APPROACH.

Gresens (1967) formulated an equation that calculated the amount of loss or gain between two samples using element concentrations from an n-dimensional compositional system, using the assumption of constant volume, a hypothesis that could be validated by textural preservation. In contrast, Grant (1986) solved Gresens' equation using an alternative constraint, a conserved element strategy (similar to the Isocon method, see below). This approach recently has been improved mathematically/graphically by determining the 'best' scaling factors (conserved elements) to construct the Isocon line (Baumgartner & Olsen 1995; Mukherjee & Gupta 2007). This approach documents the relationship between mass and composition, from which we postulate a new method to estimate the actual mass transfer during geochemically open geological processes.

The Grant (1986) formulation is given by:

$$X_{pi} + dX_i = X_{di} , \quad (1),$$

where X_{pi} represents the mass of element i (from 1 to n) in the parent (or unaltered/original protolith) rock sample, X_{di} represents the mass of element i in the daughter (or altered) rock sample, and dX_i represents the amount of mass of the i^{th} element that was added (+) or lost (-). Dividing both sides of Equation (1) by S_d and then multiplying both terms on the left side of Equation (1) by $\frac{S_p}{S_p}$ thus:

$$\left(\frac{S_p}{S_d} * \frac{X_{pi}}{S_p}\right) + \left(\frac{S_p}{S_d} * \frac{dX_i}{S_p}\right) = \frac{X_{di}}{S_d}, \quad (2),$$

(Grant 1986) where S_p is the system size (mass) of the parent rock, S_d is the system size (mass) of the daughter rock. These system sizes are the sums of the masses of the elements present in the parent ($j = p$) and daughter ($j = d$) system: $S_j = \sum_{i=1}^n X_{ji}$. Because the concentration of element i , $x_{ji} = \frac{X_{ji}}{S_j}$ in any rock, we have the following identity:

$$x_{di} = \frac{S_p}{S_d} \left(x_{pi} + \frac{dX_i}{S_p} \right). \quad (3).$$

Grant (1986, 2005), Baumgartner and Olsen (1995), Coelho (2006) and Mukherjee and Gupta (2007) among others have considered the following identity:

$$\frac{dX_i}{S_p} = dx_i, \quad (4),$$

which is true only where the parent and daughter system sizes are equal: $S_p = S_d$ (the material transfer process is coincidentally a perfect mass exchange). This likely does not occur in open systems because as $x_{pi} = \frac{X_{pi}}{S_p}$ therefore, any change in the concentration of an element is a function of the mass change of the i^{th} element and the mass change of the system as a whole (Russell & Stanley 1990), as follows:

$$dx_i = \frac{dX_i}{S_p} - \frac{X_{pi}}{S_p^2} dS. \quad (5).$$

Nevertheless, in equation (3) for a hypothetical conserved element k we impose $dX_k = 0$, yielding to the Isocon equation (Grant 1986):

$$x_{dk} = \frac{S_p}{S_d} x_{pk}. \quad (6).$$

This theoretical formulation (Grant 2005) estimates the mobility of chemical species given the vertical distance to the line defined by the Isocon slope ($\frac{S_p}{S_d}$), which is the line joining the origin with the immobile element coordinates (x_{pk}, x_{dk}) on a plot showing the concentration of the altered rock versus the concentration of the unaltered rock (Grant 2005). This formulation implies that all elements plotting on the Isocon line are conserved (immobile, incompatible, *etc.*). However, it might be possible for certain elements to plot over the Isocon even if they have experienced a mass change during the alteration event, due to the combined effect of the mass changes of the element (dX_i) and that of the whole system (dS_p), due to an elemental mass change equal to $\frac{X_{pi}}{S_p} dS_p$, implying that $x_{pi} = x_{di}$.

Conversely, we have redistributed the terms in Grant's formulae obtaining a *mass estimation of the daughter system* (S_{dk}), for a hypothetical *conserved element* k :

$$S_{dk} = \frac{x_{pk}}{x_{dk}} \times S_p \quad (7),$$

Consequently, it is now possible to estimate the mass of each chemical element in the daughter system from an arbitrary parent mass (*e.g.*: $S_p = 100\text{g}$) as:

$$X_{di} = S_{dk} \times x_{di} \quad (8)$$

The *Isomass* concept is related to the fact that the estimated daughter amount of elemental mass of the hypothetically considered conserved element equals to the parent elemental mass: $X_{di} = X_{pi}$. The difference between the mass of the i^{th} element in the daughter and in the precursor rock ($X_{di} - X_{pi} = dX_i$) represents a quantitative estimation of the elemental mass change. The conserved element will have a null mass difference; if not, then the hypothesis is not valid and another element should be tested for its level of conservation. Those elements that over-estimate the mass of the daughter system ($\frac{S_{di}}{S_{dk}} > 1$) and reduces its mass ($dX_i < 0$) are referred to as *removed* elements; those elements underrating this value ($\frac{S_{di}}{S_{dk}} < 1$) and increases its mass ($dX_i > 0$) are referred to as *added* elements. The value ($\frac{S_{di}}{S_{dk}}$) is called the *daughter system size ratio*. Note that this value is different for each element and for each

daughter sample. Effectively, it is a concentration ratio: $\frac{S_{di}}{S_{dk}} = \frac{x_{pi}}{x_{dk}}$ for a specific sample pair.

It is also possible to determine which elements are the most or the least added/removed, according to the relative amount of material transfer: $\frac{dX_i}{x_{pi}} = dr_i$, which is usually expressed in % (*cf.* Stanley 1993). These relative element changes can be compared to ascertain which are contributing the most to the observed mass change.

As a rule, only the conserved element will correctly estimate the mass of the daughter system. The ultimate criteria to identify the conserved group of elements involves finding those elements capable of fulfilling the following requirements: a) the individual mass changes ($dX_i = 0$) or the relative mass changes are smaller than measurement error, b) the estimated daughter system masses are also smaller than measurement error, and c) the daughter system mass ratios calculated for two hypothetically conserved elements k_1 and k_2 should be nearly identical for every sample and element (*i.e.*, they exhibit the highest correlation, a best-fit slope closest to unity, and a best-fit intercept closest to zero).

3. RESULTS: SYNTHETIC CASE.

The synthetic and real data plotted in the figures presented in sections 3 and 4 are tabulated in the Appendices as supplementary digital material. These synthetic and real data have been evaluated using the Isomass method described above to illustrate how it works, and its benefits.

A synthetic parent rock (P) containing 16 elements (11 major oxides and 5 trace elements) was generated using an initial rock mass of 100 g. Material transfers affected this parent rock changed the masses of the elements to produce seven additional daughter rocks, with the exception of 'TiO₂' and 'Zr', whose masses remain constant and thus are 'conserved' in these synthetic rocks. Some of these daughter samples decreased in mass (samples A1-A3) whereas others increased in mass (samples A4-A7), resulting in samples with total masses different from that of the parent sample ($S_p = 100$ g). These parent and daughter sample masses were then converted into concentrations through standardization to 100% to produce concentrations in weight percentages for the major oxides and parts per million units for the trace elements. This synthetic dataset is meant to represent typical whole rock analysis results obtained in routine litho-geochemical surveys and was tested using the Isomass method.

The masses for each element in the eight synthetic samples are presented in Figure 1. 'TiO₂' and 'Zr' have the same mass in all samples, because of their conserved element behaviour. Material transfers for most elements are modest relative to their starting masses, except for 'MnO', 'P₂O₅', 'K₂O' and 'Sc', which display small mass differences between the parent sample P and daughter samples A1-A3. The mass changes for 'MnO' are larger than those for 'P₂O₅' and 'K₂O', especially in samples that underwent net mass loss. The elements with the larger initial masses ('SiO₂' and 'Al₂O₃') underwent the most material transfer, and thus control the overall sizes of the daughter samples.

When these mass amounts are transformed into concentrations (Figure 2), it can be seen that the 'element' concentrations (majors and trace elements) in the parent rock (red) have undergone either enrichment and dilution. Thus, the material transfers have not only altered the amount of each element in each rock, and changed the size of the rocks, but they also have changed the concentrations of all of the elements in the rocks. Note that concentration changes also take place amongst the conserved elements, 'TiO₂' and 'Zr', as their concentrations are influenced only by changes to the size of the system (resulting in dilution and enrichment), as they were neither added nor removed.

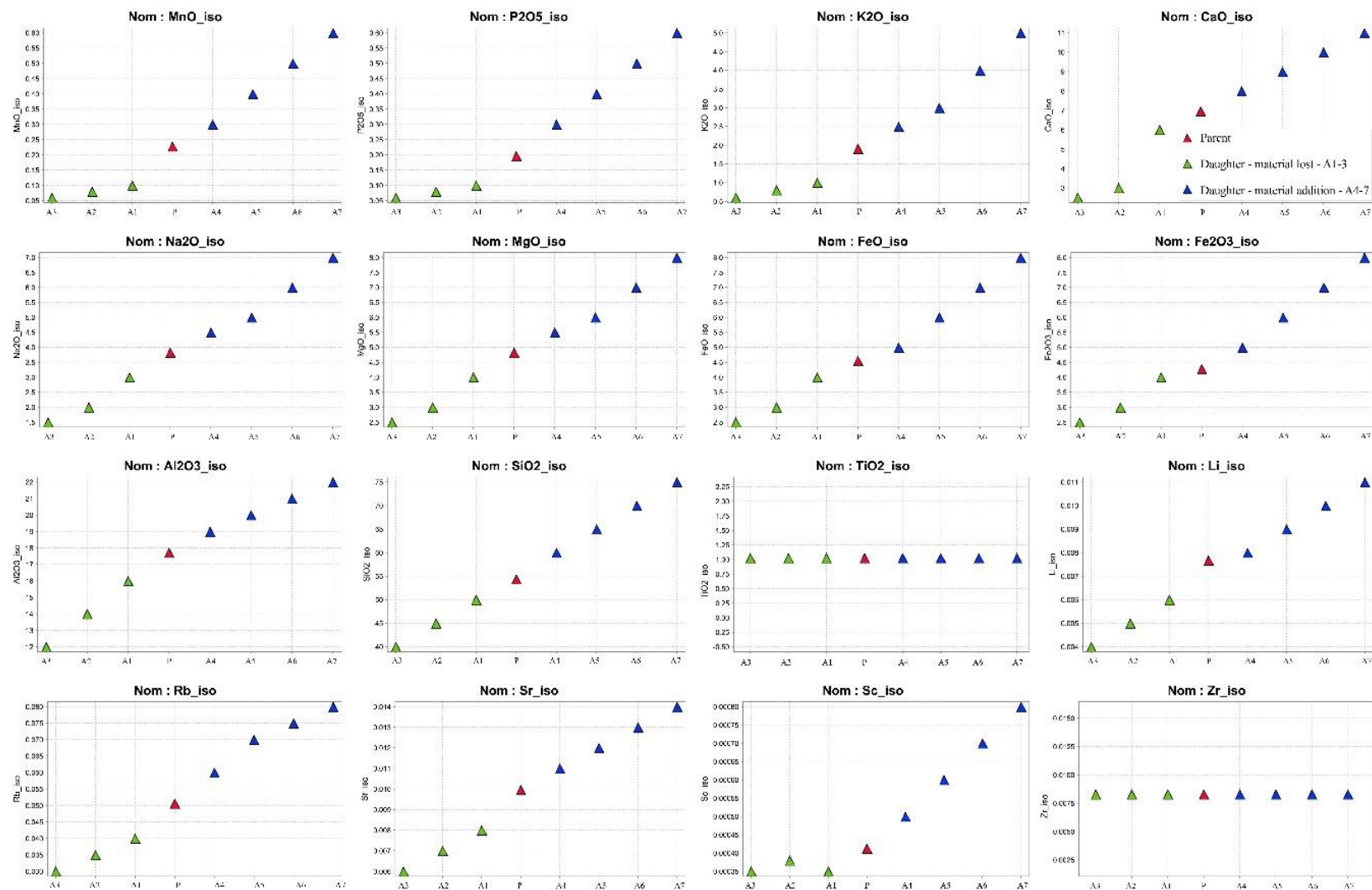


Figure 1. Masses of major oxide and trace elements for eight synthetic samples; triangle in red, P, parent sample; triangles in green, A1-A3, daughters that lost mass relative to parent; triangles in blue, A4-A7, daughters that gained mass relative to parent; see Tables 1 and 2 in the appendix for calculation details.

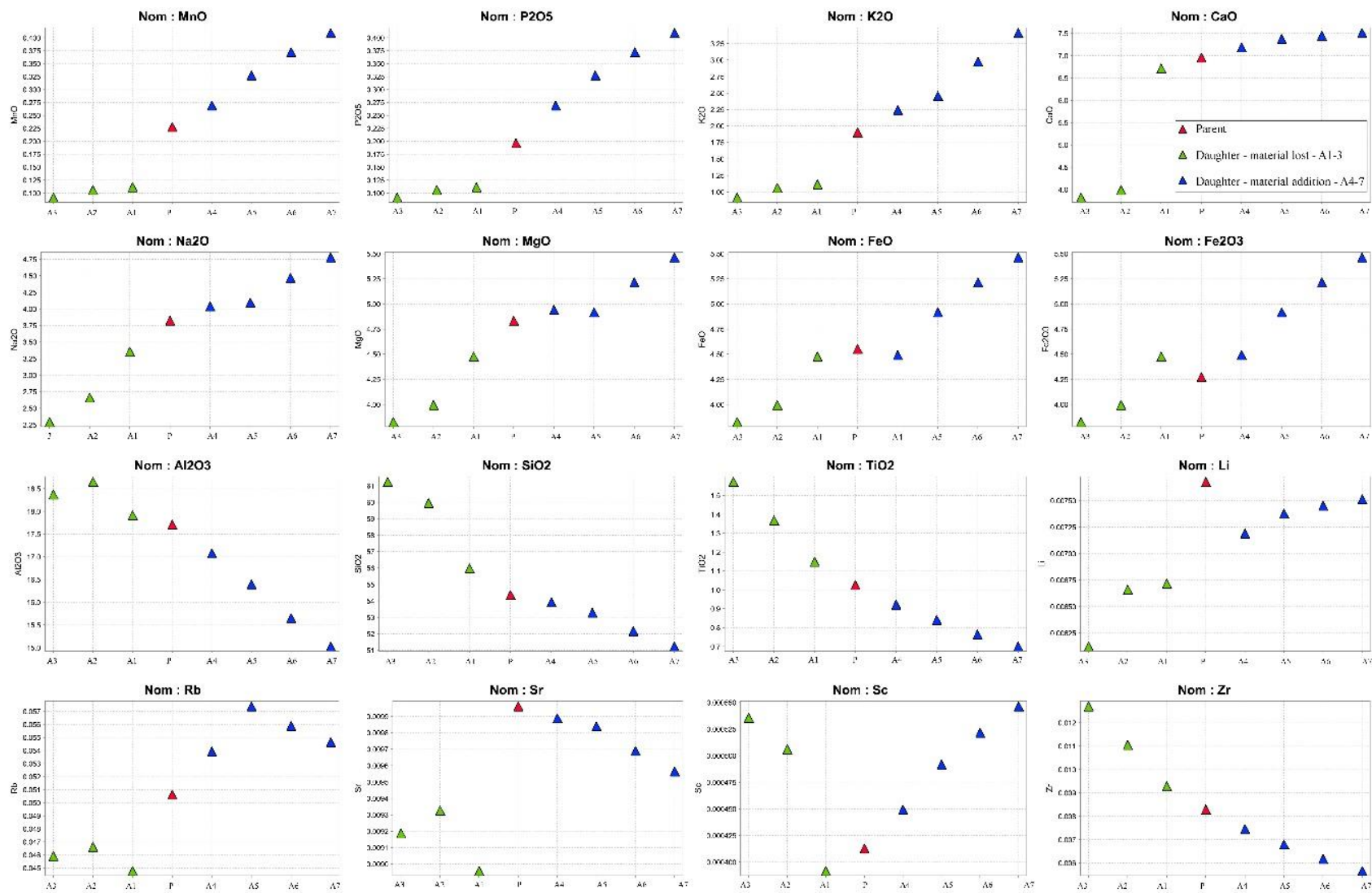


Figure 2. Concentrations of major oxide and trace elements for synthetic samples. See Figure 1 for key, and Tables 1 and 2 in the appendix for calculation details.

Note that the synthetic concentrations of 'SiO₂', 'Al₂O₃', 'TiO₂' and 'Zr' are gradually diluted towards the samples that, conversely, have added mass. This is solely due to closure (the increase in size of the samples) for 'TiO₂' and 'Zr', and but also due to the overwhelming addition of other element amounts for 'SiO₂' and 'Al₂O₃'. The rest of the elements display a gradual enrichment pattern amongst the synthetic samples, a feature due to both closure, and large relative amounts of material transfer.

Estimated Isomass results are presented in Figure 3, and the calculated amount of relative material transfers (dr_i) for 'TiO₂' and 'Zr' (0, because they are conserved) is validated, in that TiO₂ has no material transfer when Zr is assumed to be conserved, and Zr has no material transfer when TiO₂ is assumed to be conserved. Furthermore, the amount of material transfer for every element is exactly predicted by dr_i and the same, no matter whether Zr or TiO₂ are used in the calculation as both are conserved.

In contrast, when a non-conserved element (*e.g.* Al₂O₃, Sr, P₂O₅, Figure 3) is assumed to be conserved, no other element is predicted to be conserved, save for itself. In addition, all of the calculated relative material transfers are wrong (*e.g.* P₂O₅ material transfers predicted in Figure 3 are not consistent with the actual material transfers presented in Figure 1). Consequently, these calculations do not validate conservation because the prior conserved assumption is not validated by a second conserved element. Furthermore, the relative material transfer (dr_i) calculated using these assumed conserved element are not correct, precisely because the assumption of element conservation for Al₂O₃, Sr, and P₂O₅ is wrong.

In other words, element conservation cannot be validated when only one conserved element exists. Two conserved elements are required, and when present, validate each other.

The *daughter system mass ratios* for the same elements presented in Figure 3 are compared with the *daughter system mass ratios* for 'TiO₂', and these ratios are displayed in Figure 4. Results indicate that only the conservative element pair ('TiO₂' and 'Zr') estimate the same rock sizes for every sample in the synthetic rock suite. Although other pairs of elements display relatively high correlation coefficients, the data define trends with slopes that depart from unity and/or have intercepts that are not zero. The plots for 'TiO₂' vs. 'Al₂O₃', 'TiO₂' vs. 'Sr'

and 'TiO₂' vs. 'P₂O₅' thus illustrate that the *daughter system mass* estimates are higher in samples A1-A3 and lower in samples A1-A7.

This means that in a plot of *daughter system mass ratios*, if the element in the ordinate denominator is a conserved element, the element in the abscissa denominator has been removed from the parent in samples that plot below the unity line trend, and that element has been added to the parent in samples that plot above the unity line trend.

Lastly, when a conserved element is plotted on a *daughter system mass ratio* plot, the *daughter system mass ratios* for that element will all plot at unity on the corresponding axis, as demonstrated in Figure 4, and when two conserved elements are present, the *daughter system mass ratios* will plot at unity on both axes, as demonstrated on the *daughter system mass ratio* plot of 'Zr' vs. 'TiO₂'.

When it is not possible to identify a conserved element pair, the selected elements used to perform the material transfer estimations are those identified with a nearly conserved behaviour displaying the closest results to the conserved element pair.

The above synthetic example illustrates that concentrations do not accurately describe the behaviour of element material transfers when affected by geochemically open geological processes. Such material transfers can be accurately calculated using the Isomass method when there are elements present that are actually conserved. For those wishing to make the above Isomass calculations and plots, a MATLAB script is available from the lead author.

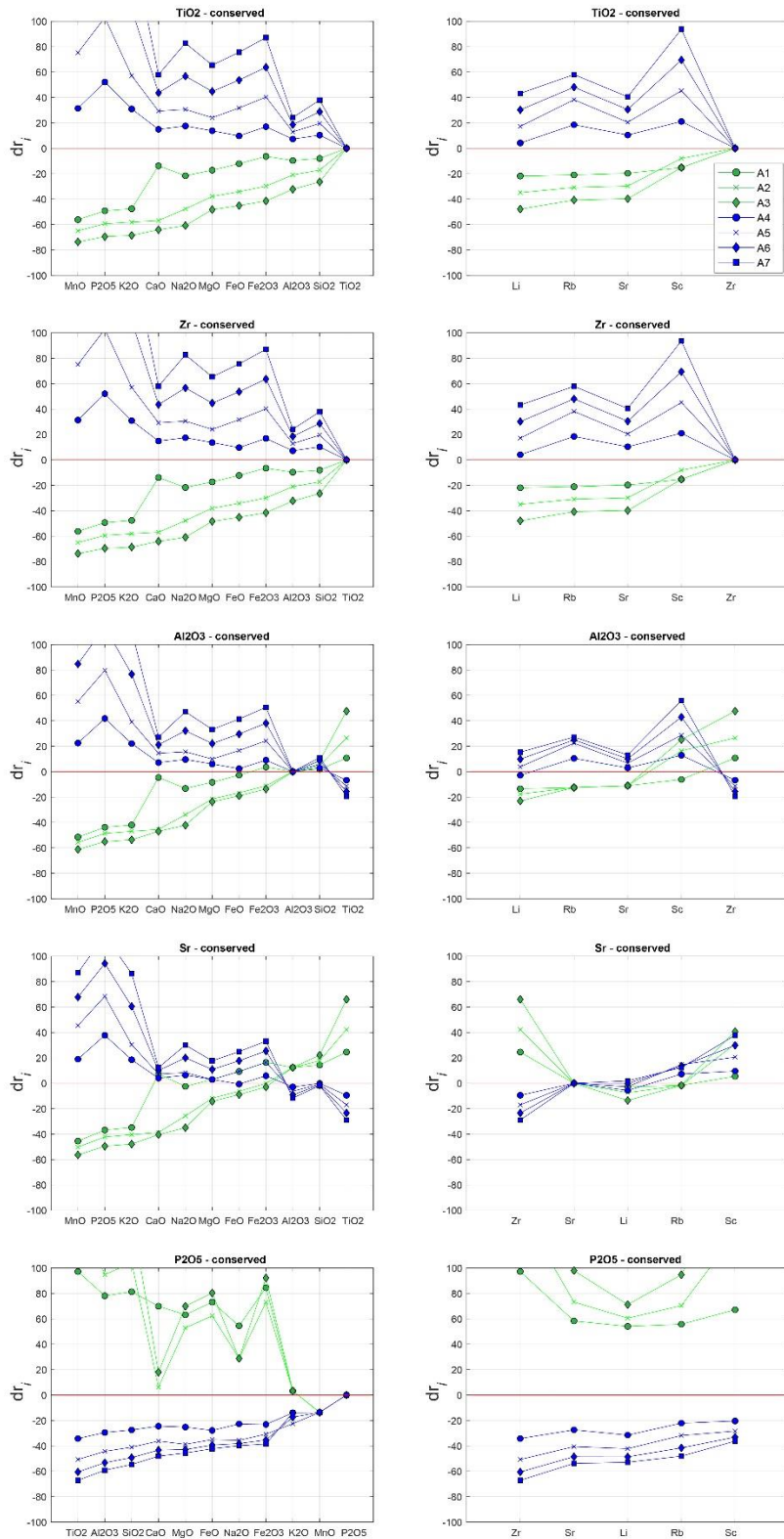


Figure 3. Relative material transfer plot for synthetic samples considering 'TiO₂', 'Zr', 'Al₂O₃', 'Sr' and 'P₂O₅' as conserved elements. In blue, samples with general mass inclusion; In green, samples with general mass remotion; red line represents parent composition.

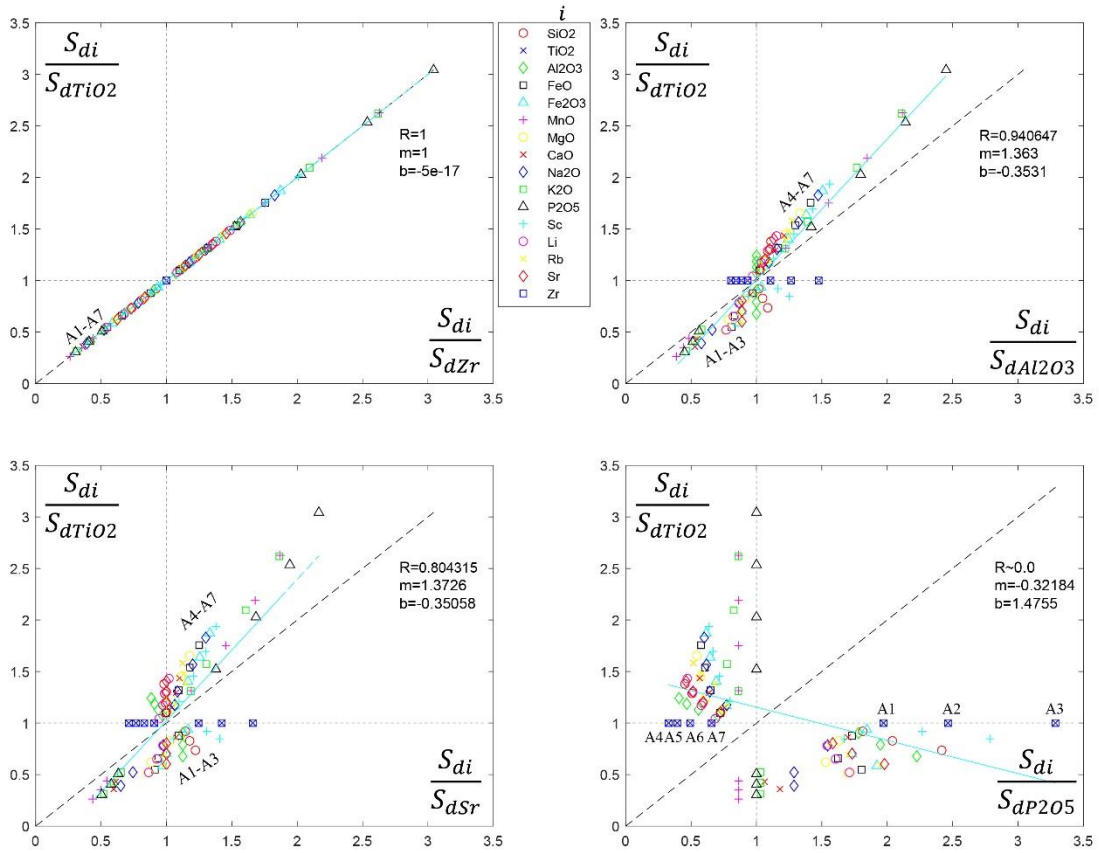


Figure 4. Plot of daughter system mass ratios for: ‘Zr vs. TiO_2 ’, Al_2O_3 vs. TiO_2 ’, ‘Sr vs. TiO_2 ’ and ‘ P_2O_5 vs. TiO_2 ’ for the eight synthetic samples. (R: correlation coefficient; OLS best fit line (cyan): slope = m, intercept = b; dashed line: slope of unity, intercept of 0; samples A1-A3 have lost mass; samples A4-A7: have gained mass).

4. RESULTS: REAL CASES.

The results of the application of the Isomass method to three compositional datasets are summarized in Table 3, plotted as relative amounts of material transfer (dr_i) in Figure 5 and plotted as daughter system mass ratios ($\frac{S_{di}}{S_{dk}}$) in Figure 6. These datasets investigate material transfer associated with soil development (Jiang *et al.* 2018), volcanic fractionation (Shore 1996) and hydrothermal metasomatism (Mori *et al.* 2008). Results are presented in the digital attachment, and are summarized below. Although, numerous geological examples of material transfer are available in the literature, these studies were selected because of the availability of a large number of elements analysed, the mobility that these elements underwent, and the at least assumed presence of a conserved element.

In the first example, data from a soil profile investigation presented by Jiang *et al.* (2018), from a > 15m thick soil/saprolite profile of a weathered tholeiitic basalt. This basalt was affected

by silica loss and iron oxidation during weathering in an extreme tropical climate on the Island of Hainan (South China). The mineral assemblage is dominated by Fe-oxides/hydroxides and gibbsite (or boehmite), and the authors tested the hypothesis that Nb was conserved using the tau factor equation of Brimhall & Dietrich (1967).

The second example involves igneous fractionation and was studied by Shore (1996), who investigated the cooling and crystallization history of komatiitic flows in Munro, Ontario, Canada. These flows were affected by seawater convection that caused both cooling and fracturing, and resulted in the serpentinization of the rocks. Magnesium-rich olivine fractional crystallization dominated the fractionation process, and the authors hypothesized that Th was conserved.

The last example investigates hydrothermal processes involving rocks that were cut by veins at a centimetre scale. Analysed by Mori *et al.* (2008) using the Isocon method, they concluded that Cr, Sc, V, Al, and Ti were conserved or nearly conserved elements. They studied the material transfer reaction paths in alteration zones around carbonate (dolomite + calcite) veins in basic schists affected by epidote-blueschist metamorphism at Nishisonogi, southwest Japan.

Figure 5 presents the daughter system mass ratios for each of the case histories, assuming that Hf and TiO₂ are conserved in the Chinese soils, that V and Al₂O₃ are conserved in the Ontario komatiites, and that Cr and V are conserved in the Japanese blueschists.

Considering these findings, we selected TiO₂ as conserved element for the soil profile dataset, Al₂O₃ for the komatiitic lava flow samples and Cr for the veined blue schist, and plotted the dr_i results in Figure 6. The patterns displayed are different in each case, due to differences in parent rock compositions and processes affecting daughter samples. Table 3 summarizes relevant information from these studies and presents the conserved elements identified by the Isomass method.

In all cases, element pairs recognized as conserved by the Isomass method produce the expected conserved element result on the daughter system mass ratio plot and the relative material transfer plot. However, some of the elements thought to be conserved by the original authors were not confirmed as conserved by this analysis.

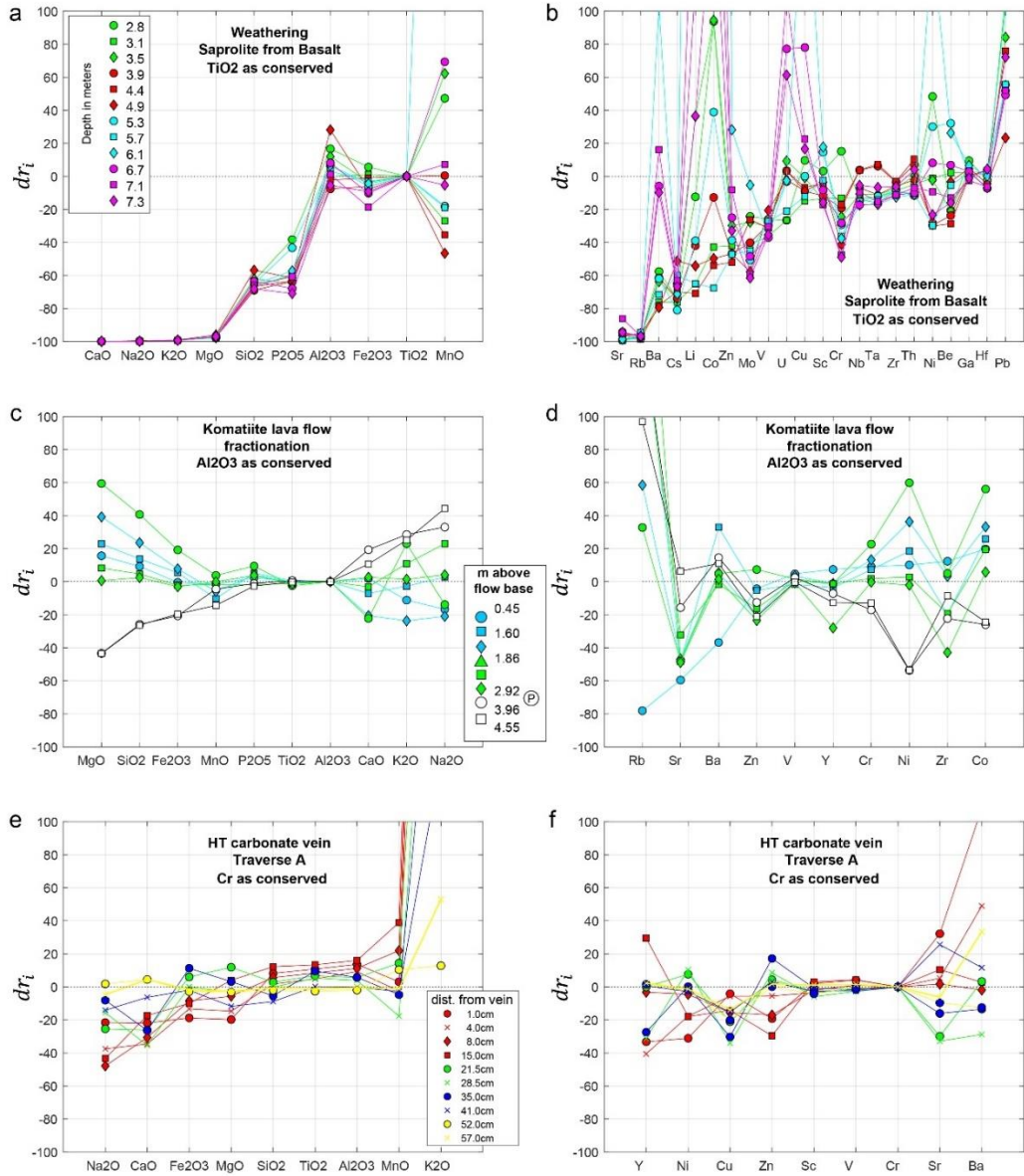


Figure 5. Major and trace elements relative material transfer calculations (d_{r_i}) for selected study cases according to: a-b. depth in saprolite from basalt weathering profile (Jiang *et al.* 2018); c-d. levels in komatiitic lava flow core, 'P' for precursor level (Shore 1996); e-f. distance from hydrothermal carbonate vein nucleus in Epidote Blue Schists (Mori *et al.* 2008).

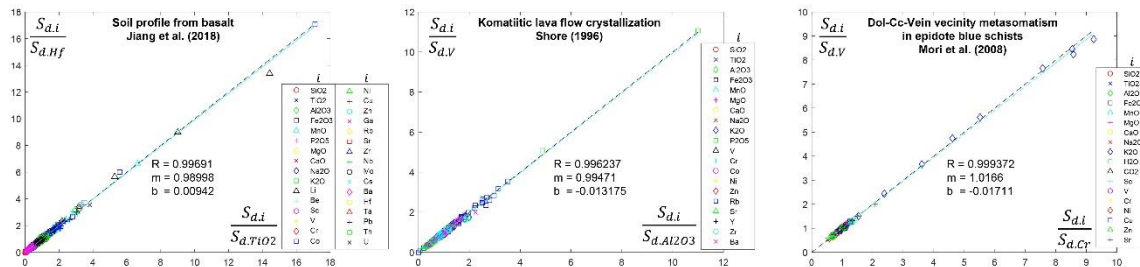


Figure 6. Plot of daughter system mass ratios for: TiO₂ vs. Hf, Al₂O₃ vs. V and Cr vs. V for the soil profile data set from Jiang *et al.* (2018), komatiitic lava flow from Shore (1996) and epidote blue schist vein vicinity from Mori *et al.* (2008). R: correlation coefficient; OLS best fit line (cyan): slope = m, intercept = b; dashed line: slope of unity, intercept of 0.

Data displayed in Figure 5a-b illustrates that in this tropical weathering environment, the principal material transfer involves the removal of mass via leaching of almost all major elements, with the exception of Al_2O_3 and Fe_2O_3 . Material transfer of trace elements is more diverse, with alkaline and earth alkaline elements strongly removed (by $> 60 \text{ } dr_i \%$), transition metals moderately removed or added (by 20 to 60 $dr_i \%$), and high field strength elements weakly removed or added (by $< 20 \text{ } dr_i \%$). Overall, material transfer in this saprolite displays expected patterns consistent with tropical weathering, with almost complete loss of Na_2O , CaO , K_2O , and MgO , minor loss of SiO_2 , and residual enrichment of Fe_2O_3 and Al_2O_3 .

The patterns in the komatiitic lava flow rocks presented in Figure 5c-d are consistent with sample level within the flow, and larger material transfer occurs in MgO and SiO_2 (consistent with olivine fractionation) as well as K_2O and Na_2O (consistent with post-emplacment alteration), albeit in the opposite directions. The same situation is reflected in trace elements by Ni-Cr-Co and Rb-Ba-Sr. Within lava flow differentiation processes are interpreted to generate these patterns.

Lastly, the hydrothermal alteration about carbonate veins did not generate substantial material transfer (generally $< \pm 40 \text{ } dr_i \%$, but mainly around $\pm 20 \text{ } dr_i \%$; Figure 5e-f). Nevertheless, material transfer formed patterns adjacent to the vein, with K_2O and Ba added proximally, and Cu removed distally. Na_2O and CaO are systematically removed almost everywhere, and SiO_2 , TiO_2 and Al_2O_3 are almost conserved, exhibiting only minor additions to the rocks.

The variability of compositions and processes illustrated above, allow us to conclude that the changes in sizes of the systems that underwent geochemically open geological processes can be identified using the Isomass method, and from that starting point, reveal the actual material transfer effects of these processes on rock chemistry.

5. DISCUSSIONS: material transfer.

The Isomass method allows the identification of conserved elements, and thus provides accurate measures of material transfer. This prevents errant interpretations resulting from the use of a non-conserved element in material transfer calculations.

The Isomass method firstly involves the estimation of the daughter system size (S_{di}), from which an accurate estimate of elemental mass changes (dr_i) can be made. The sum of squares of these material transfers provides quantitative measures of conserved character for every element (Figure 7), a consequence of substantial value, as it identifies the elements most involve in material transfer.

Then, after verifying which elements are conserved ($dX_k = 0$), the behaviour of other non-conserved elements can be estimated using daughter system size ratios. This allows a graphical comparison of the $\frac{S_{di}}{S_{dk}}$ between a pair of theoretically conserved elements, and is an extension of and an alternative to the Isocon method applied to all available samples, as it explicitly compares the ratio of every element's S_{di} estimate to the S_{dk} estimate in all samples.

If the rocks densities are known, it is possible to calculate the real volume changes that occurred in the rocks, and compare these with mineral composition or chemical reactions thought to be possible explanations of observed geological processes, validating them in an independent way.

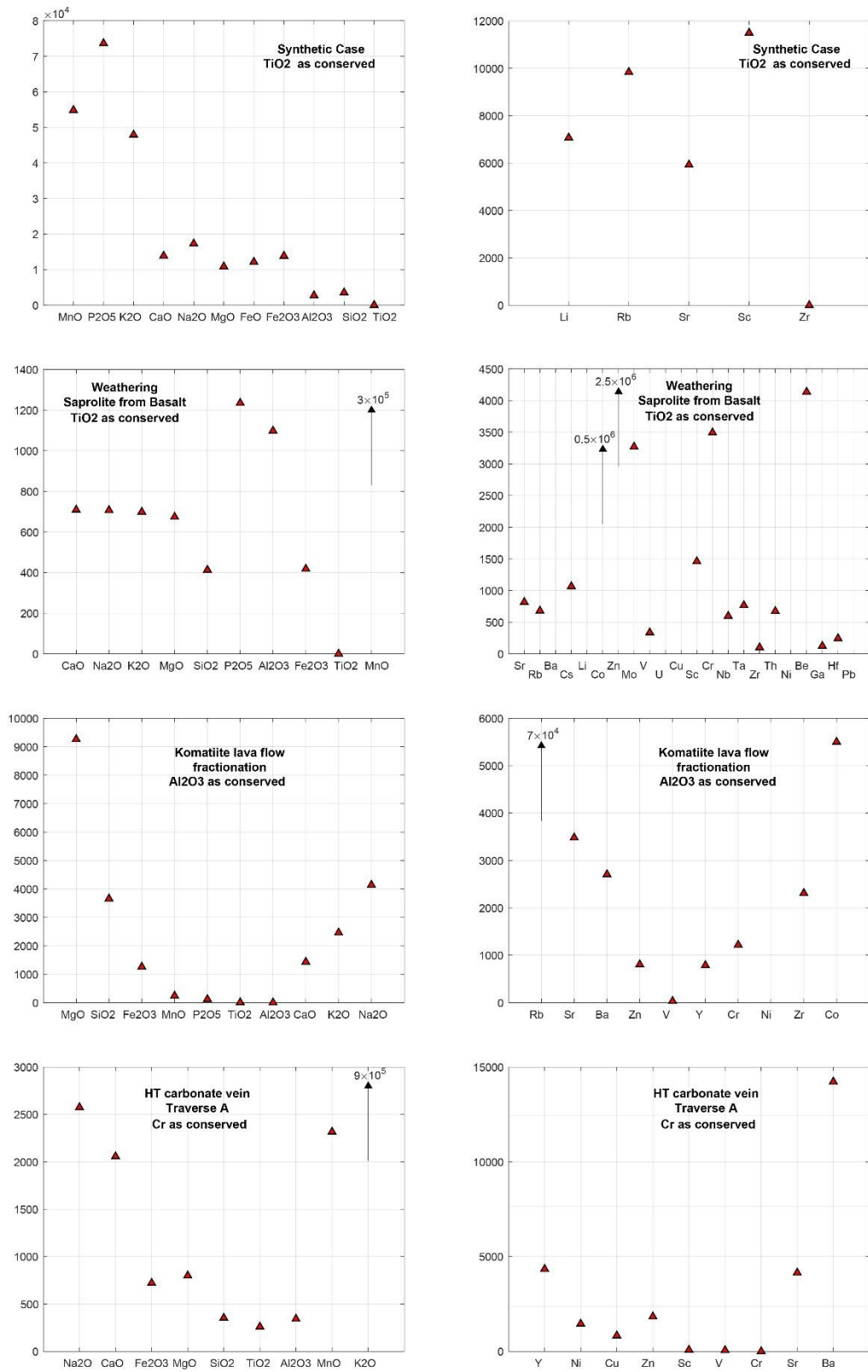


Figure 7. Sum of squares of dr_i estimates for synthetic case, soil profile, komatiitic lava flow and hydrothermal examples.

6. CONCLUSIONS

As has been demonstrated, the use of the Isomass method provides of a valid approach to the task of identifying conserved elements in a rock suite. In the process, the Isomass makes it possible to calculate all of the mass changes in geochemically open geological processes.

By modifying a well-known mass balance equation proposed by Grant (1986), we obtain quantitative estimates of individual mass changes for every element in a system affected by a material transfer process. These material transfers affect the volume, density and mass of the rocks and provide clues as to the actual process involved in material transfer. The interpretation based on whole rock analysis is then only limited by the analytical availability of elements, the analytical technique used (the size of the analytical error), the homogeneity and representativity of the powdered rock samples, and the identification of which samples represent the parent rock.

Note that, in the Isomass method, the greater the number of elements available, the greater the certainty of the results. Furthermore, the when more parent samples are available, there is more accuracy in the identification of the conserved elements. Nevertheless, despite the impact of closure on rock compositions, the Isomass method circumvents the problems introduced by closure, providing a valid understanding of the material transfers of elements that have affected a rock suite.

As demonstrated by our results, the changes in whole rock chemical concentration during a geochemically open geological process produces non-straightforward concentration changes caused by absolute material transfer changes that in any geological process can be quite diverse and complicated. As a result, the Isomass method provides a path to whole rock chemical analysis data interpretation which can be utilized when a conserved element is available.

Via the estimation of material transfer by the Isomass method, it is possible to relate petrography, mineral chemistry and the phases involved in a material transfer process involving chemical changes in rock systems, without relying on an assumption of equilibrium.

The Isomass method for the estimation of material transfer presented herein represents as a powerful quantitative tool to understand of the mass transfer processes reflected by whole

rock composition variations. It can be applied to any material transfer process (e.g., magmatic, volcanic, metamorphic or hydrothermal). In application, it allows for the identification of conserved elements and quantification of the behaviour of mobilized elements.

ACKNOWLEDGMENT

We acknowledge the assistance provided to the authors by the technical and administrative team of the Geology Department of the Universidad de Chile. Funding for this work was supplied by the National Agency for Research and Development, Chile [ANID grant 21080725/ formerly Science and Technology National Commission - CONICYT].

REFERENCES

- Baumgartner L.P. and Olsen S.N., 1995. A Least-Squares Approach to Mass Transport Calculation Using the Isocon Method. *Economic Geology*. Vol. 90, p. 1261-1270. <https://doi.org/10.2113/qsecongeo.90.5.1261>.
- Brimhall, G.H. and Dietrich, W.E., 1987. Constitutive mass balance relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemical systems: Results on weathering and pedogenesis. *Geochemica et Cosmochemica Acta*. Vol. 51, pp. 567-587. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(87\)90070-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(87)90070-6)
- Brinkley, S. R. Jr., 1946. Note on the conditions of equilibrium for systems of many constituents. *Journal of Chemical Physics*. Vol. 14, p. 563-564. <https://doi.org/10.1063/1.1724195>
- Brinkley, S. R. Jr., 1947. Calculation of the equilibrium composition of systems of many constituents. *Journal of Chemical Physics*. Vol. 15, p. 107-110. <https://doi.org/10.1063/1.1746420>
- Coelho J., 2006. GEOISO—A Windows™ program to calculate and plot mass balances and volume changes occurring in a wide variety of geologic processes. *Computers & Geosciences*. Vol. 32, p. 1523–1528. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.01.008>
- Giggenbach, W.F., 1984. Mass transfer in hydrothermal alteration systems-A conceptual approach. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 48, p.2693-2711. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90317-X](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90317-X)
- Ghiorso, M.S., 1985. Chemical mass transfer in magmatic processes I. Thermodynamic relations and numerical algorithms. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Vol. 90, p- 107-120. <https://doi.org/10.1007/BF00378254>
- Grant, J.A., 1986. The Isocon diagram - A simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration. *Economic Geology*. Vol. 81, p.1976-1982. <https://doi.org/10.2113/qsecongeo.81.8.1976>

- Grant, J.A., 2005. Isocon analysis: A brief review of the method and applications. *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. 30, p. 997-1004. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2004.11.003>
- Gresens R.L., 1967. Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical Geology*. Vol. 2, p. 47-55. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(67\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0009-2541(67)90004-6)
- Guo, S., Ye, K., Chen, Y., and Liu, J.B., 2009. A normalization solution to mass transfer illustration of multiple progressively altered samples using the Isocon diagram. *Economic Geology*. Vol. 104, no. 6, p. 881–886. <https://doi.org/10.2113/qsecongeo.104.6.881>
- Hilchie, L., Russell, J.K. and Stanley, C.R., 2018. Unification of Isocon and Pearce Element Ratio techniques in the quantification of material transfer. *Economic Geology*. Vol. 113, no. 7, p. 1603–1608. <https://doi.org/10.5382/econgeo.2018.4605>
- Jiang, K., Qi, H. y Hu, R., 2018. Element mobilization and redistribution under extreme tropical weathering of basalts from the Hainan Island, South China. *Asian Earth Sciences*. Vol. 158, p. 80-102. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.02.008>
- Karpov, I., Chudnenko, K. and Kulik, D., 1997. Modelling chemical mass transfer in geochemical processes: thermodynamic relations, conditions of equilibrium, and numerical algorithms. *American Journal of Sciences*. Vol. 297, p. 767-806. <https://doi.org/10.2475/ajs.297.8.767>
- MacLean W. H. and Barrett T. J., 1993. Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration*. Vol. 48, p. 109-133. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(93\)90002-4](https://doi.org/10.1016/0375-6742(93)90002-4)
- Mori, Y., Nishiyama, T. and Yanagi, T., 2003. Mass transfer and reaction paths in alteration zones around carbonate veins in the Nishisonogi Metamorphic Rocks, southwest Japan. *American Mineralogist*. Vol. 88, p. 611–623. <https://doi.org/10.2138/am-2003-0415>
- Mukherjee P.K. and Gupta P.K., 2007. Arbitrary scaling in ISOCON method of geochemical mass balance: An evaluation of the graphical approach. *Geochemical Journal*, Vol. 42, p. 247-253. <https://doi.org/10.2343/geochemj.42.247>
- Pearce T.H., 1968. A Contribution to the Theory of Variation Diagram. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Vol. 19, p. 142-157. <https://doi.org/10.1007/BF00635485>
- Russell, J.K., and Nicholls, J., 1988. Analysis of petrologic hypotheses with Pearce element ratios. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Vol. 99, no.1, p. 25–35. <https://doi.org/10.1007/BF00399362>
- Russell, J.K., and Stanley, C.R., 1990. A theoretical basis for the development and use of chemical variation diagrams. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 54, p. 2419–2431. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(90\)90229-E](https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90229-E)

- Russell, J.K., Nicholls, J., Stanley, C.R., and Pearce, T.H., 1990. Pearce element ratios: A paradigm for testing hypotheses. *Eos*. Vol. 71, p. 234–247.
<https://doi.org/10.1029/E0071i005p00234>
- Stanley, C.R. (1993): Effects of Non-Conserved Denominators on Pearce Element Ratio Diagrams. *Mathematical Geology*, Vol. 25, pp. 1049-1070.
<https://doi.org/10.1007/BF00911549>
- Stanley C.R. and Russell J.K, 1989. PEARCE.PLOT: Interactive graphics-supported software for testing petrologic hypotheses with Pearce element-ratio diagrams. *American Mineralogist*. Vol. 74, p. 273-276. <https://doi.org/10.1007/BF00371366>
- Shore, M., 1996, Cooling and crystallization of komatiite flows: Ph.D. thesis, Ottawa, Ontario, University of Ottawa, p. 55–70, 189–195.
- Vistelius, A.B. and Sarmanov, O.V., 1961. On the correlation between percentage values: major component correlation in ferromagnesium micas. *The Journal of Geology*. Vol. 69, no. 2, p. 145-153. <https://doi.org/10.1086/626725>

Table 1. Synthetic mass, weight percent and ppm data for an initial precursor composition affected by general loss and general gain of mass.

Precursor	Mass (g)											Mass (g)					Total (g)	Mass difference Mp-Ms
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Sc	Li	Rb	Sr	Zr		
	Precursor	54,38	1,03	17,72	4,56	4,28	0,23	4,84	6,96	3,83	1,91	0,20	0,00040	0,00740	0,04880	0,00960		
A 1	50,00	1,03	16,00	4,00	4,00	0,10	4,00	6,00	3,00	1,00	0,10	0,00035	0,00600	0,04000	0,00800	0,00830	89,29	10,71
A 2	45,00	1,03	14,00	3,00	3,00	0,08	3,00	3,00	2,00	0,80	0,08	0,00038	0,00500	0,03500	0,00700	0,00830	75,04	24,95
A 3	40,00	1,03	12,00	2,50	2,50	0,06	2,50	2,50	1,50	0,60	0,06	0,00035	0,00400	0,03000	0,00600	0,00830	65,30	34,70
A 4	60,00	1,03	19,00	5,00	5,00	0,30	5,50	8,00	4,50	2,50	0,30	0,00050	0,00800	0,06000	0,01100	0,00830	111,22	-11,22
A 5	65,00	1,03	20,00	6,00	6,00	0,40	6,00	9,00	5,00	3,00	0,40	0,00060	0,00900	0,07000	0,01200	0,00830	121,93	-21,93
A 6	70,00	1,03	21,00	7,00	7,00	0,50	7,00	10,00	6,00	4,00	0,50	0,00070	0,01000	0,07500	0,01300	0,00830	134,13	-34,14
A 7	75,00	1,03	22,00	8,00	8,00	0,60	8,00	11,00	7,00	5,00	0,60	0,00080	0,01100	0,08000	0,01400	0,00830	146,34	-46,34

Precursor	wt. (%)											ppm					Total (%)
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Sc	Li	Rb	Sr	Zr	
	Precursor	54,38	1,03	17,72	4,56	4,28	0,23	4,84	6,96	3,83	1,91	0,20	3,98	74,00	488,00	96,00	
A1	56,00	1,15	17,92	4,48	4,48	0,11	4,48	6,72	3,36	1,12	0,11	3,92	67,20	447,98	89,60	92,99	100,00
A2	59,97	1,37	18,66	4,00	4,00	0,11	4,00	4,00	2,67	1,07	0,11	5,06	66,63	466,40	93,28	110,64	100,00
A3	61,26	1,57	18,38	3,83	3,83	0,09	3,83	3,83	2,30	0,92	0,09	5,36	61,26	459,45	91,89	127,16	100,00
A4	53,95	0,92	17,08	4,50	4,50	0,27	4,95	7,19	4,05	2,25	0,27	4,50	71,93	539,49	98,91	74,66	100,00
A5	53,31	0,84	16,40	4,92	4,92	0,33	4,92	7,38	4,10	2,46	0,33	4,92	73,81	574,11	98,42	68,10	100,00
A6	52,19	0,77	15,66	5,22	5,22	0,37	5,22	7,46	4,47	2,98	0,37	5,22	74,55	559,14	96,92	61,90	100,00
A7	51,25	0,70	15,03	5,47	5,47	0,41	5,47	7,52	4,78	3,42	0,41	5,47	75,17	546,67	95,67	56,74	100,00

Table 2. Isomass results for synthetic example. Considering TiO₂ and Zr as conserved elements.

Initially conserved element	Sample	Added material				Removed material				Conserved material				Mass estimations	
		Most added major elem.	Most added trace elem.	Least added major elem.	Least added trace elem.	Most removed major elem.	Most removed trace elem.	Least removed major elem.	Least removed trace elem.	Conserved major element	Conserved trace element	Most conserved major elem.	Most conserved trace elem.	Estimated altered rock mass (Ms)	Mass difference (Ms - Mp)
TiO ₂	A1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	MnO	Li	TiO ₂	Zr	n.d.	n.d.	TiO ₂	Zr	89.3g	-10.70g
	A2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	MnO	Li	TiO ₂	Zr	n.d.	n.d.	TiO ₂	Zr	75.05g	-24.95g
	A3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	MnO	Li	SiO ₂	Zr	TiO ₂	n.d.	n.d.	Zr	65.29g	-34.70g
	A4	P ₂ O ₅	Sc	Al ₂ O ₃	Li	TiO ₂	Zr	TiO ₂	Zr	n.d.	n.d.	TiO ₂	Zr	111.21g	11.21g
	A5	P ₂ O ₅	Sc	Al ₂ O ₃	Li	TiO ₂	Zr	TiO ₂	Zr	TiO ₂	Zr	n.d.	n.d.	121.92g	21.92g
	A6	P ₂ O ₅	Sc	Al ₂ O ₃	Li	TiO ₂	Zr	TiO ₂	Zr	TiO ₂	Zr	n.d.	n.d.	134.13g	34.13g
	A7	P ₂ O ₅	Sc	Al ₂ O ₃	Sr	TiO ₂	Zr	TiO ₂	Zr	TiO ₂	Zr	n.d.	n.d.	146.34g	46.34g
Zr	A1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	MnO	Li	Fe ₂ O ₃	Zr	n.d.	Zr	TiO ₂	n.d.	89.29g	-10.70g
	A2	TiO ₂	n.d.	TiO ₂	n.d.	MnO	Li	SiO ₂	Zr	TiO ₂	Zr	n.d.	n.d.	75.05g	-24.95g
	A3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	MnO	Li	SiO ₂	Zr	n.d.	Zr	TiO ₂	n.d.	65.29g	-34.70g
	A4	P ₂ O ₅	Sc	Al ₂ O ₃	Li	n.d.	Zr	n.d.	Zr	n.d.	Zr	Al ₂ O ₃	n.d.	111.21g	11.21g
	A5	P ₂ O ₅	Sc	Al ₂ O ₃	Li	TiO ₂	Zr	TiO ₂	Zr	TiO ₂	Zr	n.d.	n.d.	121.92g	21.92g
	A6	P ₂ O ₅	Sc	Al ₂ O ₃	Li	TiO ₂	Zr	TiO ₂	Zr	n.d.	n.d.	TiO ₂	Zr	134.13g	34.13g
	A7	P ₂ O ₅	Sc	Al ₂ O ₃	Sr	TiO ₂	Zr	TiO ₂	Zr	n.d.	n.d.	TiO ₂	Zr	146.34g	46.34g

Table 3. Sumarized Isomass results.

Geological Process	Author	Age-Locality	Classification	Process	Materials	Minerals	Conserved elements
Soil and Paleosoil	Jiang et al. (2018)	Mio-Pliocene Hainan Island (China)	Weathering	Desilication, ferralitization	Soil, saprolite, semiweathered basalt, tholeiitic basalt	kaolinite, iron oxyhydroxides. Gibbsite, bohemite	TiO ₂ -Hf
Water/Rock interaction	Mori et al. (2008)	Late Cretaceous Nishisonogi (Japan)	Hydrothermal carbonate veins	Retrograde dolomite-calcite vein in basic schist	Epidote blue schists, vecinity of carbonate vein	winchite, epidote, chlorite, calcite, albite, quartz, amphibole, illite, dolomite	Cr-Sc-V
Igneous	Shore (1996)	~2710Ma Ontario (Canada)	Volcanic crystallization	Cooling and crystallization of lava flow	Komatiite lava flow	Olivine, spinel, augite, pigeonite, serpentine, glass	Flow C: Al ₂ O ₃ -V

8 Aplicación del Método a grandes bases de datos.

En ambientes magmático-hidrotermales se dispone de grandes bases de datos de series de rocas cogenéticas, alteradas o frescas, y de rocas de caja de procesos hidrotermales. Esas muestras presentan composiciones y firmas geoquímicas que, bajo la mirada de Isomasas, develan transferencia de masa de elementos mayores y trazas asociados antes o no a procesos magmáticos o de alteración. Sobre una base de datos de casi 3500 muestras se aplicó la metodología Isomasas.

Se presenta como parte de este capítulo el artículo presentado a la revista *Journal of Geochemical Exploration* para su publicación.

Mass Transfer in Magmatic-Hydrothermal Systems: insights from the Isomass Method.

S.E. Calderón-Díaz^{a*} and B. Townley^a.

^aDepartamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Plaza Ercilla 803, Santiago Chile.

**Corresponding author: Tel. +56-9-88318955. E-mail address: sergio.ernesto.calderon.diaz@gmail.com*

Keywords: isomass, conserved element, material transfer, magmatic-hydrothermal.

Abstract

The Isomass method applied to routine exploration geochemical analyses from magmatic-hydrothermal systems allows to identify major and trace elements material transfer related to magma generation, mineral fractionation and rock alteration patterns. As magmatic systems within the magma chamber and hydrothermal systems are, by definition, open systems, the application of the Isomass method is appropriate. Chemical ICP-AES-MS analyses from near to 3500 samples from a mineral deposit grouped in 13 transects were run according to the Isomass routine. Results of relative material transfer ($\%dm$) starting from different precursor samples, recognize that Al_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 and Na_2O were conserved major elements and Be, V and Sc, conserved trace elements ($\%dm = 0$). Material transfer process contrasted to the elemental content of rocks, allows to improve classification and geochemical interpretation of the geological processes responsible of the material transfer observed. Through relative material transfer variation diagrams, it is possible to identify magmatic and hydrothermal patterns that are not detected through concentration, ratios of elements or molar ratio diagrams. Elemental ratios (V/Sc and Sr/Y), general elemental ratios related to alteration patterns (K/Al vs Na/Al) and ternary plots (Al-K-Mg; Ca-K-Na; Ca-Fe-S) mixed with elemental relative material transfer illustrate that the amount represented by the material transfer plays a definitive role when the insights to processes become interpretations. Magmatic generation processes and prospectivity of samples coincides with material transfer combinations of specific elements, granting new comprehension to the mobility concept within open geochemical systems as chemical-mineralogical interpretations are made.

1. Introduction

The study of mass transfer processes in magmatic and hydrothermal systems by means of multielemental geochemistry has been addressed in multiple publications (e.g. Halley *et al.* 2015; Caciagli 2015; Escolme *et al.* 2019). The databases of analysed elements and the number of samples have grown in order to precise patterns and detail geological processes (Halley 2020). Analytical methods have been developed and improved techniques in order to get a greater number of elements analysed, paying attention to mineral digestion method do not affect accuracy nor detection limits. This is how it has become a standard the ICP-AES and/or ICP-MS four acid digestion methodology (a combination of nitric, perchloric, hydrofluoric and hydrochloric acid), obtaining better results for the resolution of patterns in immobile trace elements than with the use of lithium borate fusion, although, repetitions of analysis are performed with the latter methodology for greater accuracy in analysis of major elements (Halley 2020).

The database used for this work corresponds to about 3500 drilling samples analysed using the four-acid digestion method with analytical method of ICP AES+MS, from a copper porphyry type deposit related to Miocene diorites intruding a basalt-andesitic to dacitic volcanoclastic sequence. The dataset is available in <https://www.scotthalley.com.au/tutorials>. Given the age of the rocks under study, it is possible that the elements Zr, Hf, Y and Heavy Rare Earths Elements (HREE) are underestimated in their concentration because zircons, in young rocks, are not easily dissolved by the methodology used (Magaldi *et al.* 2019). Something similar would happen with titanite and rutile in acid-altered rocks (Halley 2020).

Following Halley (2020) suggestion, the mapping of rock composition for magmatic-hydrothermal systems requires an understanding of the effects of the crystallization process according to the variables of the magma source region composition, temperature, pressure, oxidation state, water and sulphur content of the magma. Characteristics that contribute to the generation potential of metal-bearing hydrothermal fluids determining their enrichment (Halley 2020).

Given the volatility of SiO₂ in the form of the SiF₄ complex during the digestion process, it is suggested to use Sc as a reference to subdivide rock compositions (Lopez Molinero *et al.*

1997; Halley 2020). Hosted in Fe-Mg minerals and with valence 3⁺, Sc is considered an immobile element in hydrothermal and meteoric environments (Williams-Jones and Vasyukova 2018). From that perspective, as has traditionally been established, High Field Strength Elements (HFSE) elements are also considered immobile.

However, in light of the results obtained through the Isomass methodology (Calderón-Díaz and et al. *in prep.*), establishing how and how much the elements change their mass is not clear nor is it a valid interpretation when that interpretation comes solely and directly from element concentration analysis (Russell & Stanley 1990).

As will be demonstrated, immobile elements do not necessarily correspond to conserved elements, except in some particular cases. To determine the material transfer of elements related to the crystallization of magmatic or alteration minerals, it is necessary to observe the process through the optics of the Isomass methodology and thus identify different processes of addition/removal of elements, hidden behind identical concentration of elements, concentration ratios or molar ratios results for different processes.

2. Application and Isomass method results: concentration vs. relative mass transfer plots.

Application of the Isomass method is defined in Calderón-Díaz *et al.* (in prep.), a method that allows finding conserved elements in geochemically open geological processes. A brief description of the method is necessary for the understanding the results presented here.

From the isocon equation (Grant 2005), a change in the perspective of the estimation objective is generated, in this case. The Isomass method estimates the amount of total mass of the secondary system necessary for a particular element to be recognized as conserved in its mass and, from it, it is possible to estimate the amount of mass of each element of the secondary system (X_{di}) from the concentrations normalized to 100%, according to:

$$S_{dk} = \frac{x_{pk}}{x_{dk}} \times S_p \cdot X_{di} = S_{dk} \times x_{di}$$

Where S_{di} is the system size (mass) of the daughter rock estimated for element j , S_p is an arbitrary system size of the parent rock (*e.g.*: $S_p = 100\text{g}$), x_{ji} is the concentration of element i ($x_{ji} = \frac{X_{ji}}{S_j}$) in any rock, and X_{pi} represents the mass of element i (from 1 to n) in the parent (or

unaltered/original protolith) rock sample, X_{di} represents the mass of element i in the daughter (or altered) rock sample. Element k is a hypothetical conserved element.

The *Isomass* concept is related to the fact that the estimated daughter amount of elemental mass of the hypothetically considered conserved element equals to the parent elemental mass: $X_{di} = X_{pi}$. The difference between the mass of the i^{th} element in the daughter and in the precursor rock ($X_{di} - X_{pi} = dX_i$) represents a quantitative estimation of the elemental mass change.

The *daughter system size ratio* value ($\frac{S_{di}}{S_{dk}}$) allows to compare the estimated sizes for every daughter system for every element analyzed with that value estimated from a pair of hypothetically conserved element (k_1, k_2). That pair will be recognized as conserved element pair if the correlation coefficient is the highest and OLS best fit line displays a unity slope and intercept of 0. Nearly conserved elements display these data approaching these requirements.

It is also possible to determine which elements are the most or the least added/removed, according to the relative amount of material transfer: $\frac{dX_i}{X_{pi}} = dr_i$, which is usually expressed in %. These relative element changes can be compared to ascertain which are contributing the most to the observed mass change. Value that will be positive in case of addition of mass and will be negative in case of removal of mass (limited to -100% for logical reasons). The parent sample will be that sample that, by petrology or from the geochemical perspective, best represents the parental sample. A comparison of the relative amount of concentration (X_i) and material transfer (dr_i) is useful to visualize the potential direct and inverse relation between these variables (Figure 1).

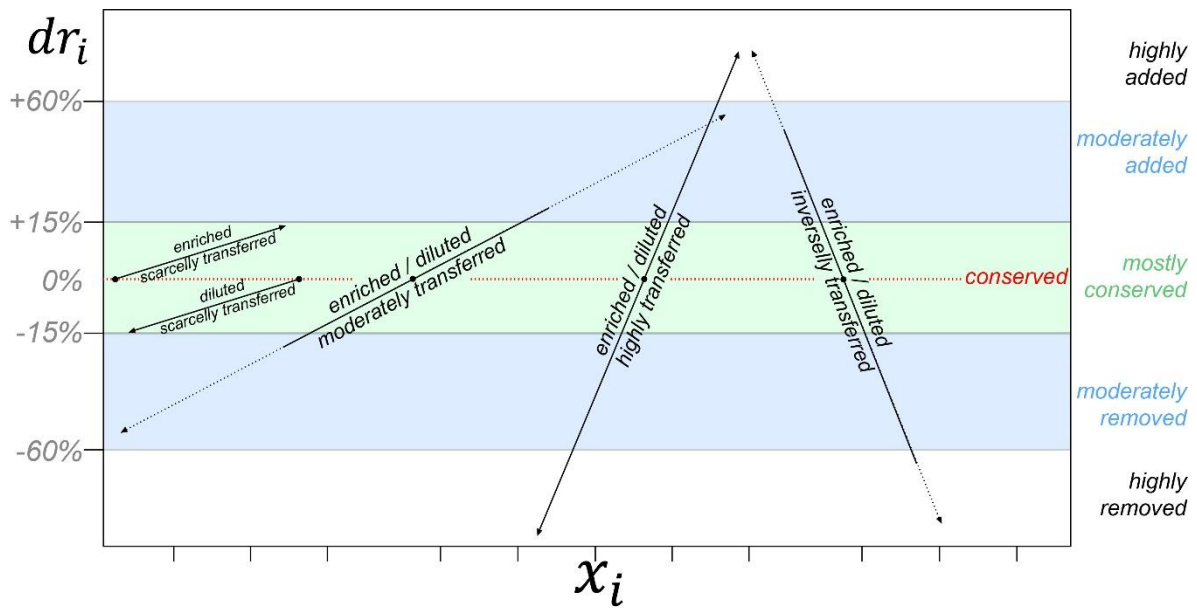


Figure 1. Schematic plot of concentration (x_i) versus relative material transfer (dr_i) for a generic element i . Proposed names to elemental behaviours are related to the intensity in which estimated material transfer changes within a rock suit compared to concentration changes. Black dots for parent composition.

Application of the Isomass method to about 3500 samples of a magmatic-hydrothermal system porphyry copper type deposit, organized in 13 transects, representative of different lithological types, was carried out according to the routine of the Isomass method in MATLAB, based on different parent samples until reaching the one that met the necessary requirements to be considered as the best parent and with elements that were conserved in their mass.

The major elements identified as conserved correspond to Al_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 and Na_2O and the conserved trace elements correspond to Be, V and Sc, for different transects and parent samples, according to the Isomass criteria (Calderón-Díaz *et al.* in prep.). From these conserved elements, the relative amount of material transfer and net material difference was calculated for each of the daughter samples in each transect. In general, the results are consistent within mass transfer ranges. Modelling results were organized in tables for subsequent processing of data in ioGAS©, a tool that is an industry standard to solve questions of large databases (Halley, 2020).

Figure 2 illustrates major elements concentrations ($wt\%$.) versus relative material transfer estimations ($\%dr$). Colours represent the 13 transects within the magmatic-hydrothermal system. Despite the existence of linear correlations between these variables, the

results of Isomass reveal that changes from the precursor composition to higher concentration of an element is not necessarily reflected in mass addition of that element; in the opposite way, compositional changes to lower concentrations are not necessarily reflected in loss of that element. Indeed, inverse relationships can be clearly observed in the case of Al_2O_3 , P_2O_5 and Na_2O . In the rest of the elements this phenomenon also occurs as schematized in Figure 1. This inverse relationship is noticeable at smaller scale in plots.

Note also that, there are elements identified as conserved that are represented just above the line of $0\%dm$. In this sense, elements that approach the conserved behavior, display a flattened slope in Figure 2. The increase in slope indicates the intensity of the mass change and how this is reflected in concentration of elements, this is a reference to element mobility. A high slope means that the addition or removal of the element does not imply significant concentration changes due to the effect of the rest of the elements mass changes sum, changing the size of the daughter systems.

Figure 3 illustrates the relative material transfer results ($\%dr$) calculated compared to concentration ($ppm.$) for trace elements obtained for the same transects, performed in the magmatic-hydrothermal system. As a geographical reference, transects are positioned from west to east as: 5, 8, 9, 6, 7, 4, 11b, 10, 1, 11a, 13, 3, 12a, 2 and 12b, along an a proximally 20km^2 land.

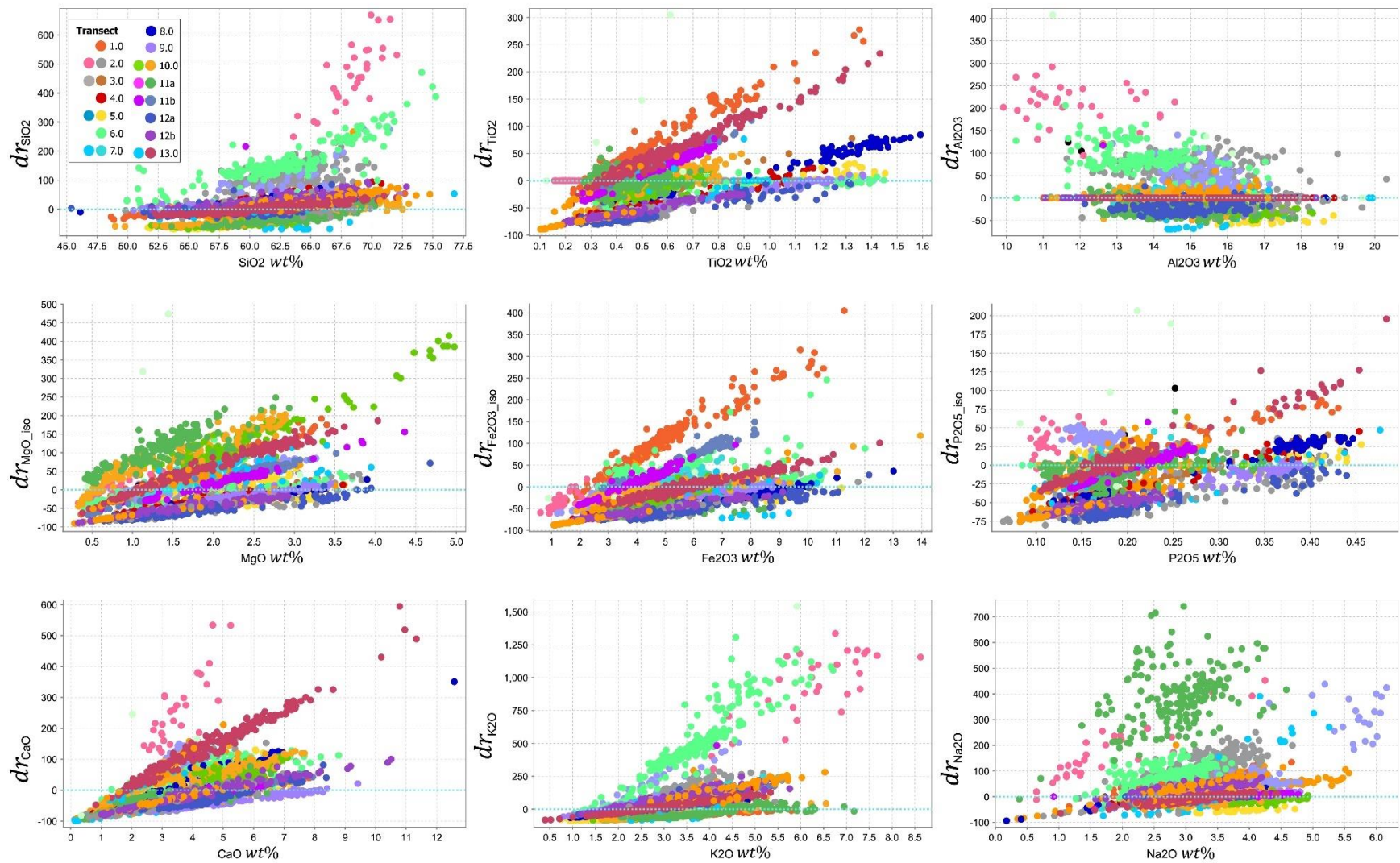


Figure 2. Plots of concentration (wt%) versus relative amount of material transfer (% dr) for trace elements. Colours represent 13 transects in the magmatic-hydrothermal system, some of them in two colour representing compositional subgroups. Light blue line is the 0% dr , over this line plot conserved elements.

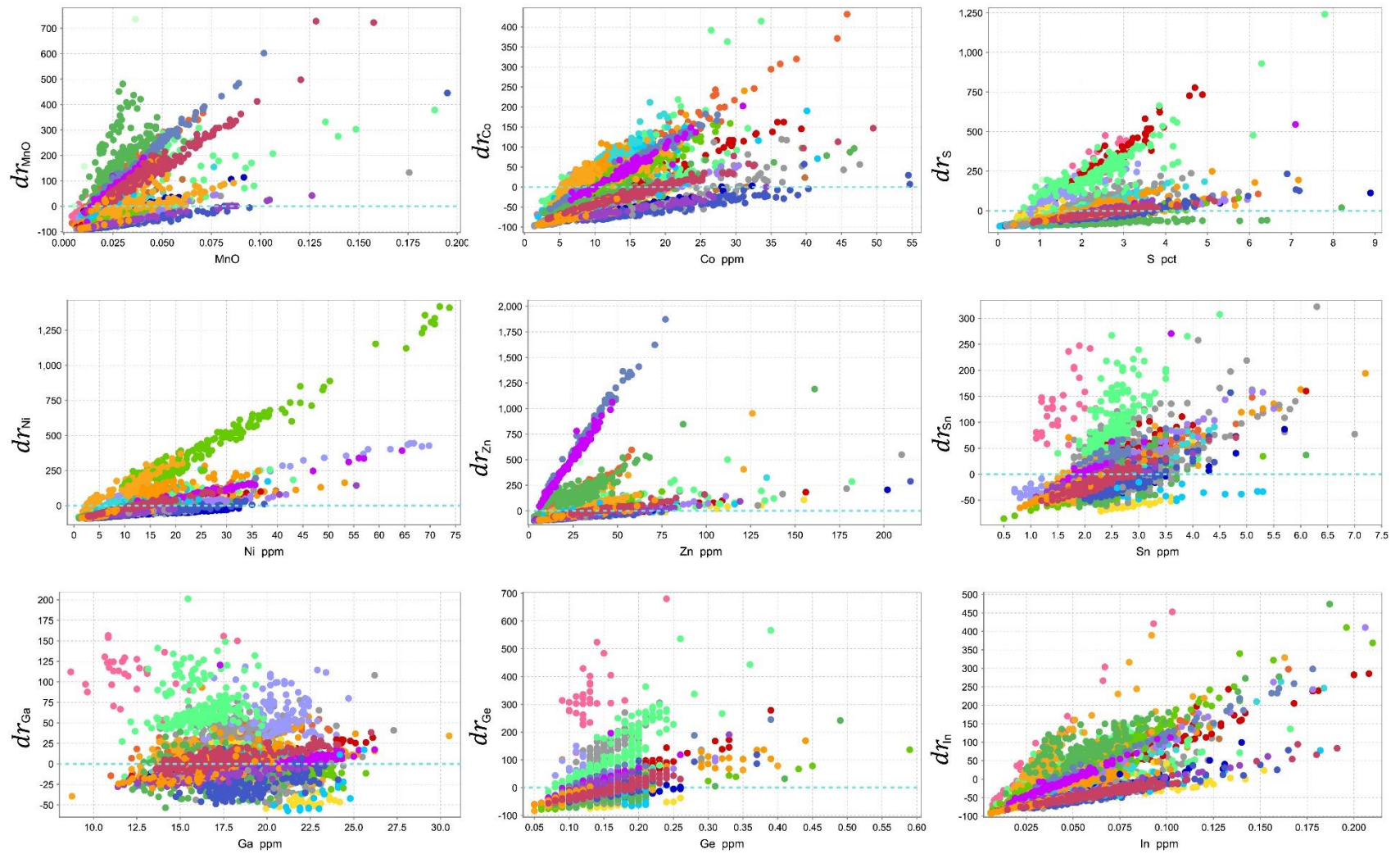


Figure 3. Plots of concentration (*ppm* and *MnO* in *wt%*) versus relative amount of material transfer (*%dr*) for trace elements. Colours represent 13 transects in the magmatic-hydrothermal system as in Figure 2. Light blue line is the 0%*dr*, over this line plot conserved elements.

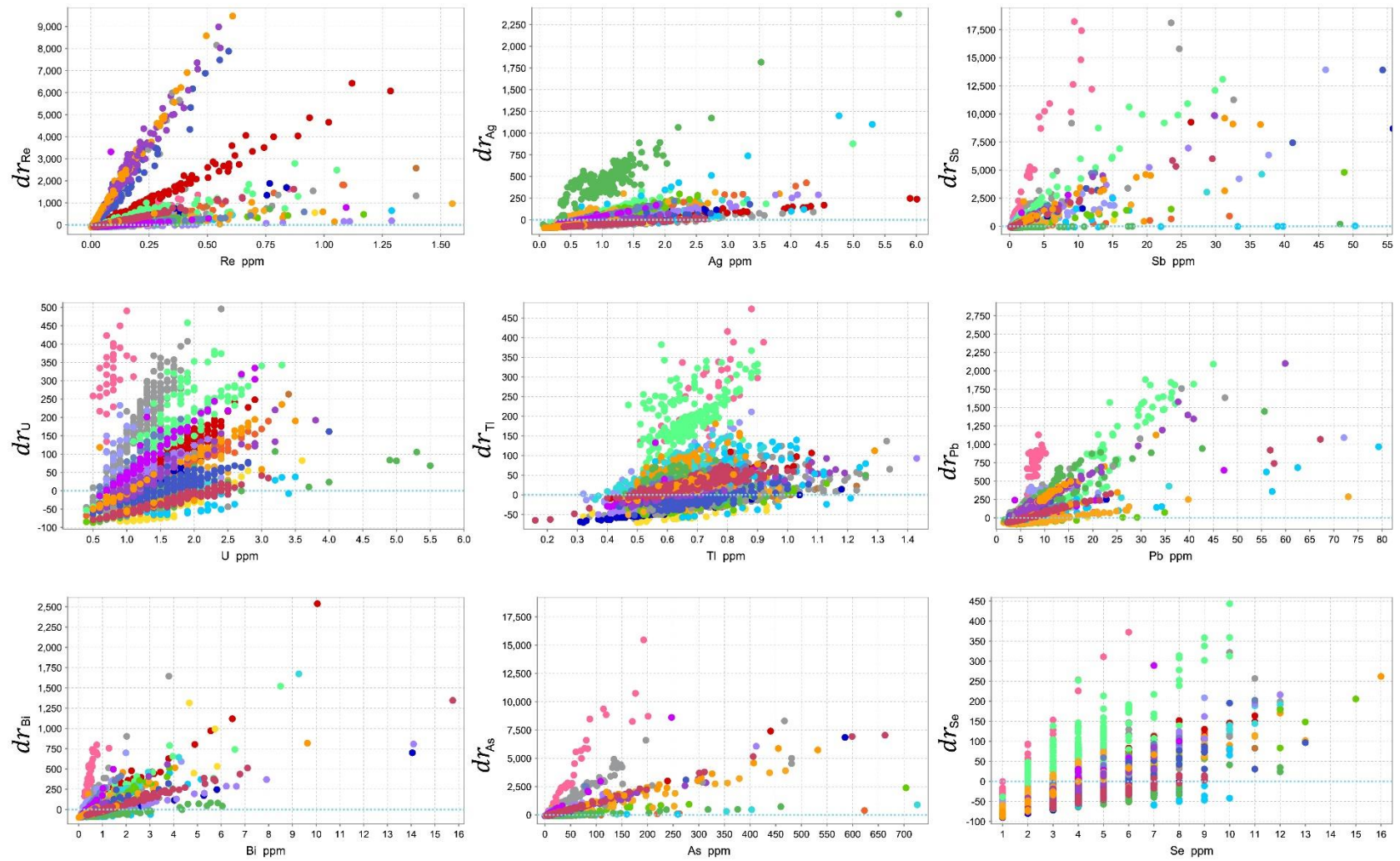


Figure 3. Continuation

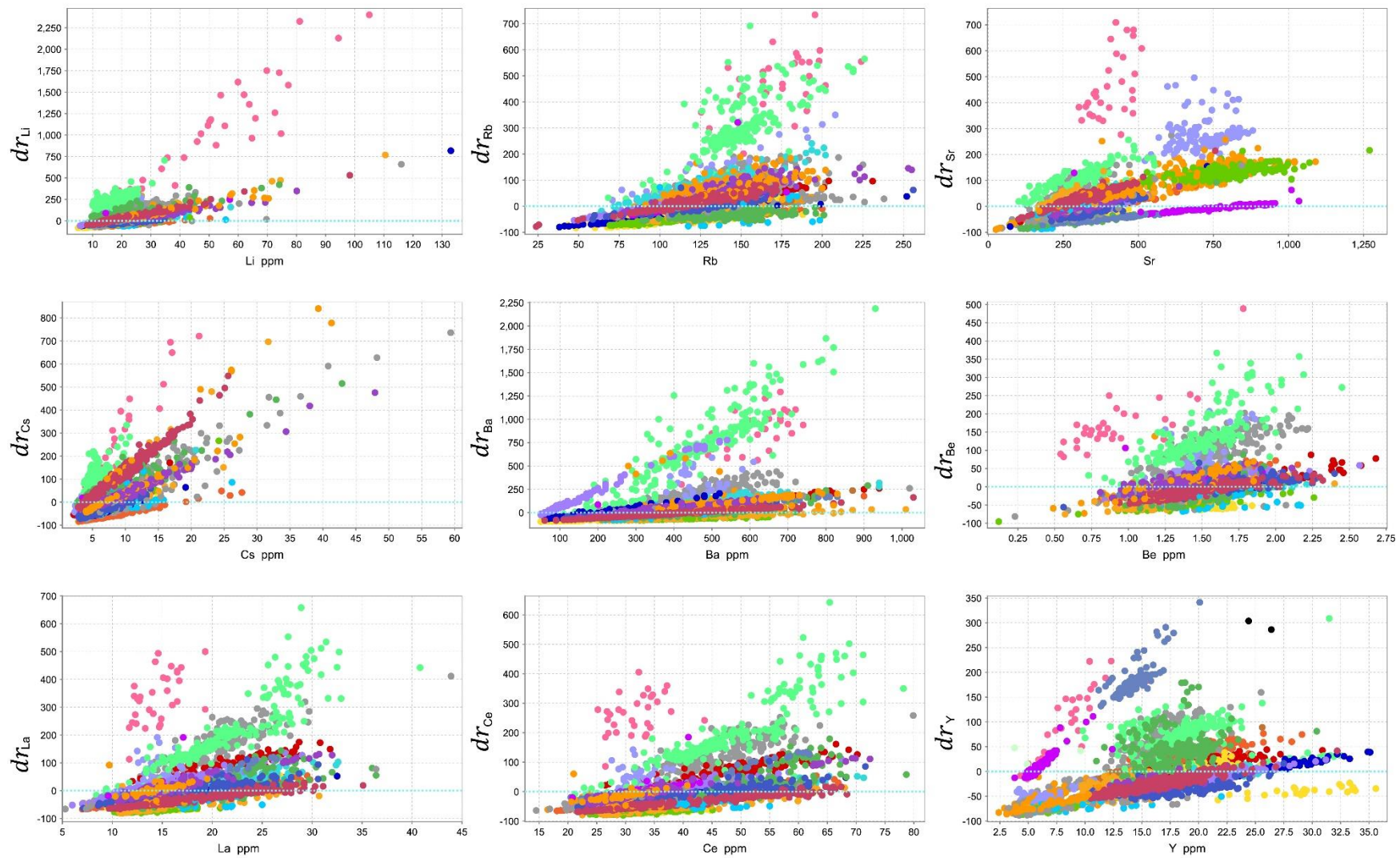


Figure 3. Continuation

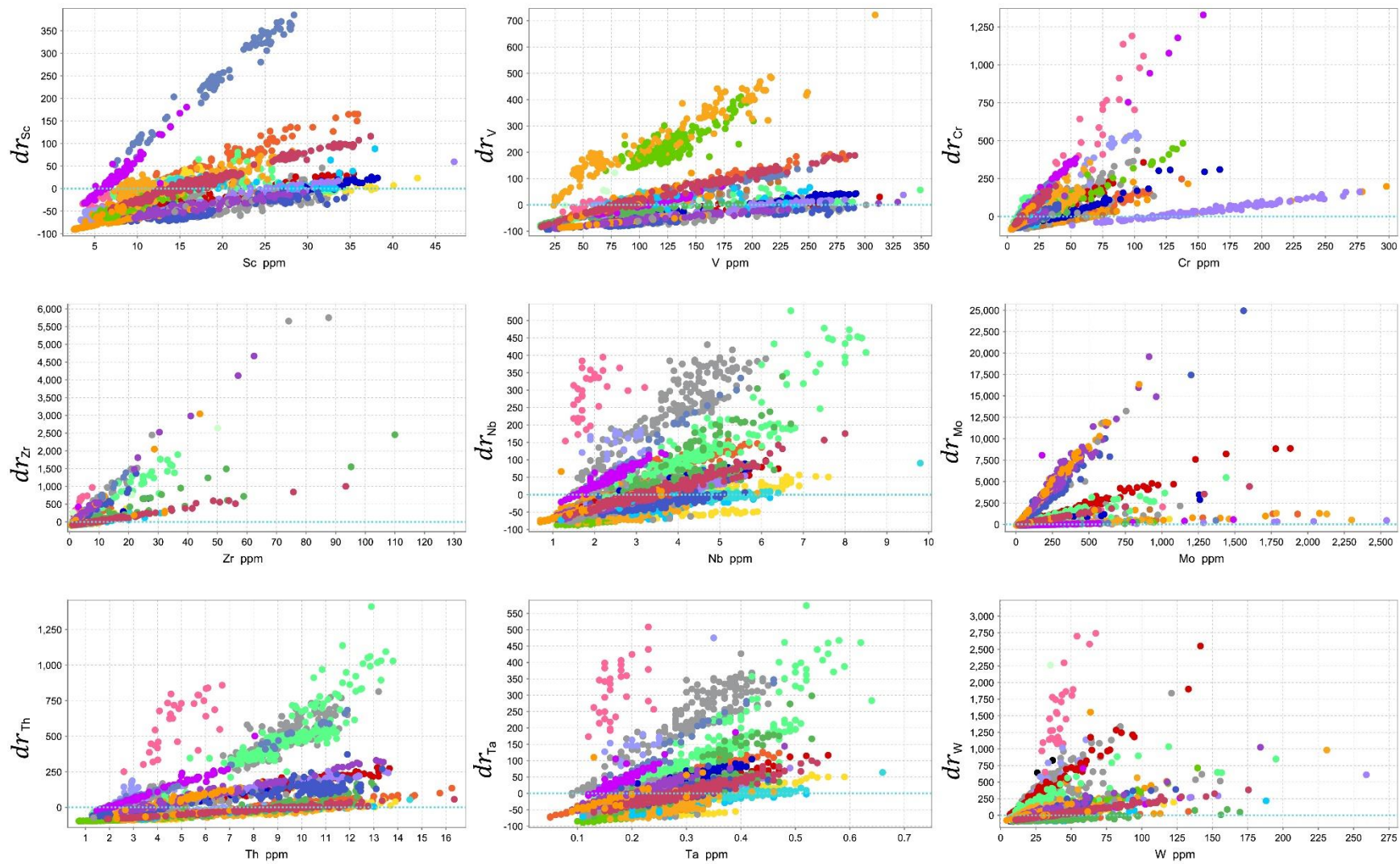


Figure 3. Continuation

Although all elements are highly transferred, the elements with the highest material transfer found within the 10% of the elements with the highest mass addition with respect to their original mass are in general: As, Ba, In, Mo, Pb, Re, Sb and, scarcely, Ta, W, Zn and Zr; those elements that are within 10% of the most removed elements with respect to their original mass are: As, Mo, Re, S, Sb, Th and, scarcely, Bi, Co and Zr.

The apparent contradiction that some elements are recognized as more added and more removed, is due to the fact that this classification corresponds to different transects, therefore, different series of cogenetic rocks, different parent rocks and different conserved elements from which their relative material transfers are estimated.

In magmatic-hydrothermal systems, mass input and output are generated at different scales. It is possible to identify different material transfer patterns for each transect or groups of transects. Data plotted in Figure 2 and Figure 3 allows to recognize highly transferred elements in specific transects, particularly separated trends are observed in Li, Rb, Sr, Y, Sc, V and Mo relative material transfers. Data of other elements are display close to each other, although individual transects paths are identifiable. The elements displaying inversely transferred enrichment /dilution patterns are Al_2O_3 , P_2O_5 and Ga, but this is not generalized.

3. Previously: Rock Composition Mapping

Following Richards and Kerrich (2007), Richards (2012), Loucks (2014) and Halley (2020) we plot V/Sc and Sr/Y signatures in Figure 4, in order to address geochemical discrimination within a hydrothermal system from different perspectives and compare them. The groups are: rocks associated with copper porphyries (cyan circles, high V/Sc ratio), rocks related to ore (purple circles, high Sr/Y ratio) and rocks with normal andesitic to rhyolitic magmas and / or related to magnetite or ilmenite fractionation (black circles, low V/Sc and Sr/Y ratios).

Loucks (2014) interpreted V/Sc versus SiO_2 data as a prospectivity proxy for magma compositions associated with porphyry copper deposits, identifying three patterns of mineral fractionation: hornblende/clinopyroxene, ilmenite or magnetite. V^{3+} behaves like Sc^{3+} in reduced magmas, then it is possible for both metals to be replaced by Fe in amphibole, pyroxene and magnetite, then the V/Sc ratio remains constant and equal to 7:1 from mafic to felsic magmas (Li & Lee 2014). In more oxidized magmas, the V^{4+} ion, sensitive to redox conditions, has strong

affinity with magnetite, therefore, these magmas fractionate V relative to Sc, generating decreasing V/Sc ratios with increasing SiO₂ (or Sc) due to magnetite fractionation (Shervais 1982; Iveson *et al.* 2018). On the other hand, fertile copper porphyry related magmas display increasing V/Sc ratios with increasing SiO₂ values, which has been interpreted as crystallization of hornblende and / or clinopyroxene rather than magnetite in increasingly hydrated magmas (Toplis & Corgne 2002).

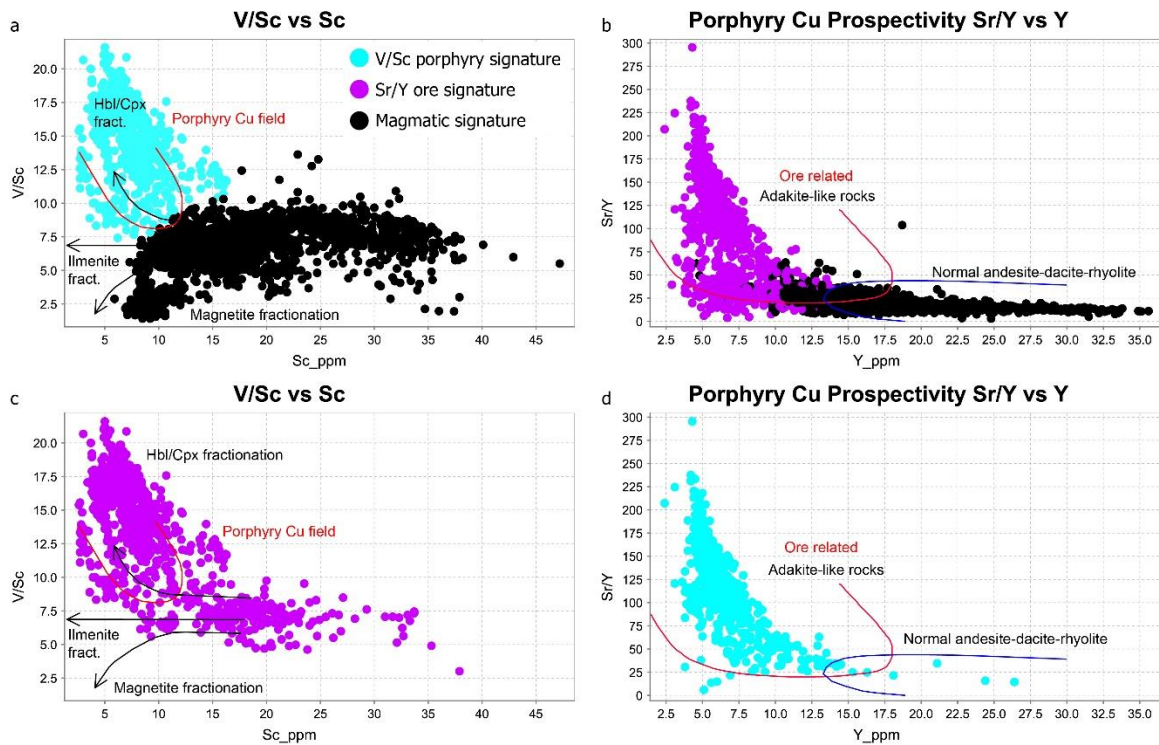


Figure 4. Geochemical signatures V/Sc versus Sc (a), Sr/Y versus Y (b). Rocks with Ore signatures according to graph V/Sc versus Sc (c) and rocks with Copper Porphyry signature according to the Sr/Y versus Y (d) graph (Richards & Kerrich, 2007; Richards, 2012; Loucks, 2014; Halley, 2020).

Interpretations over magmatic Sr/Y signatures related to ore include: increasing magmatic source depth, fractionation of titanite (Richards 2012; Loucks 2014; Halley 2020), Y fractionation due to garnet crystallization at high depths (crust depth > 30 km, Chiaradia *et al.* 2012), and high-water content generated at high pressure (Richards 2011; Richards *et al.* 2012). High Sr content in intermediate magmas is typical of hydrated melts crystallizing hornblende and clinopyroxene prior to crystallization of sodium plagioclase (Halley 2020).

In porphyry copper systems, Halley (2020) does not advise the use of this graph because of the mobility of Sr in hydrothermal environments, although systems interpreted as low

mobility for Sr generate high Sr/Y ratios, implying that in mineralized zones plagioclase would be altered to albite plus anhydrite, retaining Ca and Sr. The dilution of Sr would occur only in areas of hydrolytic alteration (Halley, 2020).

In Figure 4, prospective environments overlap each other and ore related Sr/Y signatures include rock compositions of magnetite or ilmenite fractionation in the Sc versus V/Sc plot. The Isomass method results clarify these overlapping compositions.

3. Relative material transfer plots.

Relative material transfer (dr_i) plots allow us to illustrate the material transfer estimations of a specific pair of elements, changes that cannot always be seen through concentration plots. Figure 5 schematically illustrates these plots considering the generic elements i and j .

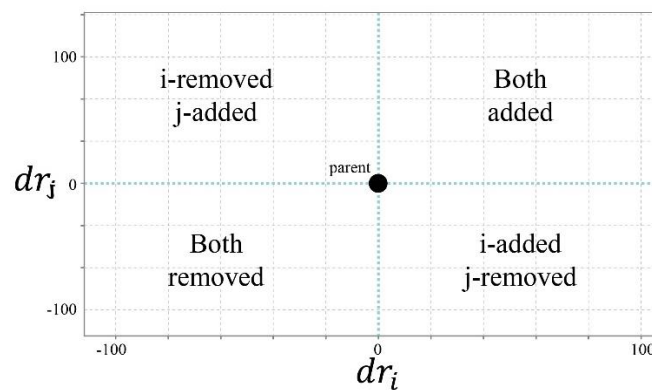


Figure 5. Schematic plot of relative material transfer of element i and j . At the coordinates $(dr_i, dr_j)=(0.0)$ is represented the parent composition.

The selected data set used in this study to test the Isomass methodology has proven its simplicity in the application of process interpretations due to the effective discrimination of material transfer along transects, including elements that have been used to discriminate magmatic processes in magmatic-hydrothermal systems.

Sc content is generally used to discern magmatic-hydrothermal differentiation trends rather than SiO_2 , because SiF_4^- complex is affected by volatilization in acid digestion. As Sc and most of the first-row transition metals (V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn) have quite similar chemical properties, they would display linear decreasing trends in unaltered rocks with differentiation (Halley 2020). Also, as Sc is considered immobile, slope changes in those plots are expected to

be related with opaque oxide minerals fractionation, sulphur saturation or metal leaching during hydrothermal alteration (Halley 2020).

Figure 6 illustrates the concentration variation data and the relative material transfer results of Fe_2O_3 and Sc. According to Halley (2020) concentration plots discriminate contrasting compositions of mafic (high Sc and Fe concentrations) and felsic rocks (lower Sc and Fe concentrations). However, this general linear enrichment behaviour is divided into two different paths in a relative material transfer plot: there are transects displaying high addition of Sc over Fe, other transects displaying high addition of Fe over Sc, and transects with variable rates of remotion/addition patterns (Figure 6).

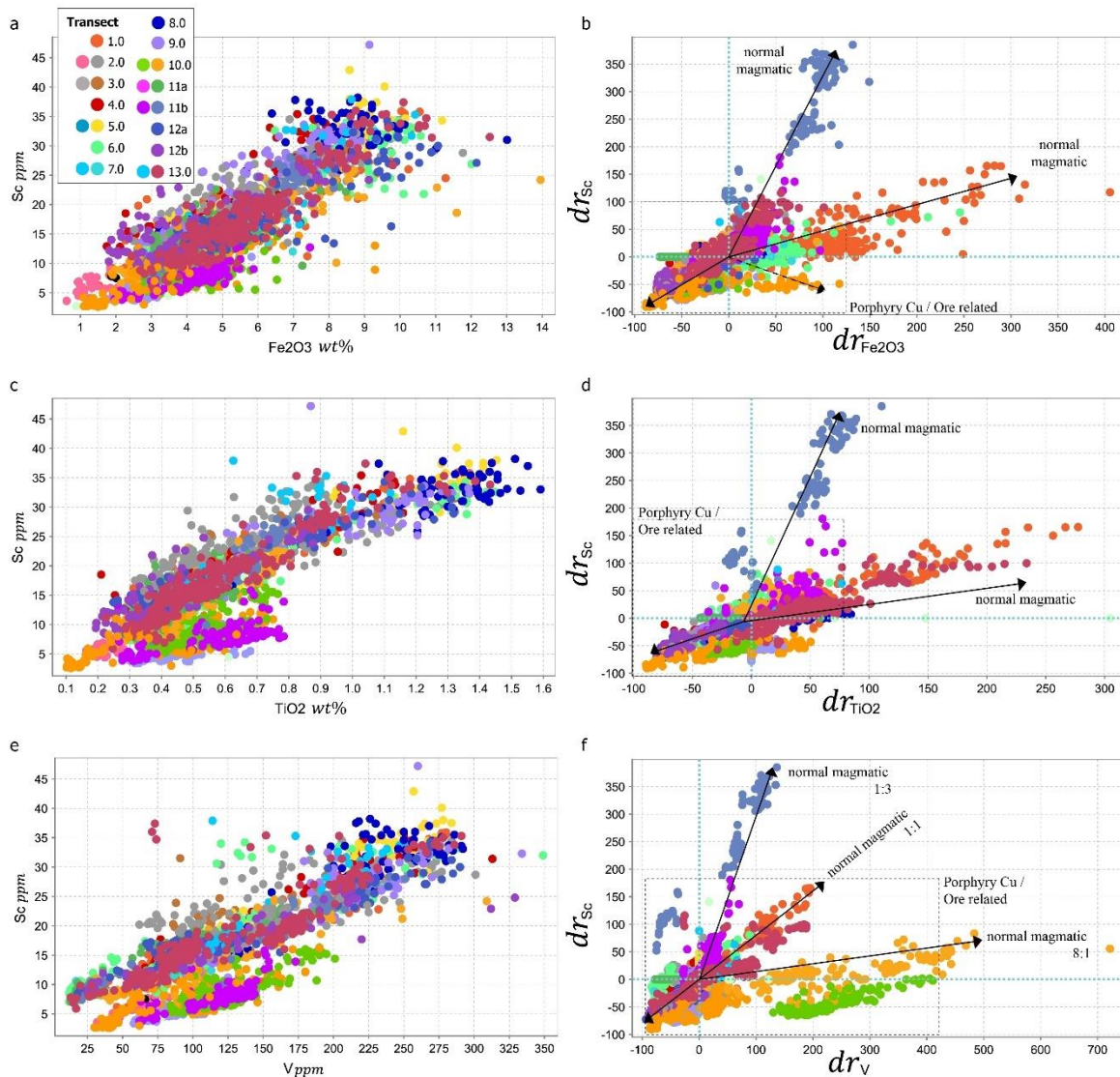


Figure 6. Variation in concentration and relative material transfer (% dr) of Sc versus Fe_2O_3 (a, b), TiO_2 (c, d) and V (e, f) plots. The segmented box marks limits for samples identified with high Sc/V and Sr/Y in Figure 4.

4. Normal magmatic compositions.

Following Halley (2020), the first step in mapping chemical compositions of rocks to identify fractional crystallization is to plot Sc versus Th, Ti, V, Nb, Zr and P concentrations. The results are then compared to those obtained by means of the Isomass methodology (Figure 6). The normal magmatic compositions result from at least two different magmatic trends: one displaying higher addition of Sc and another displaying higher addition of Fe₂O₃ and TiO₂ (Figure 6b and d). Although, considering a more sensitive element such as V, there are three paths of material transfer revealed within the magmatic-hydrothermal system (Figure 6f). Each of these addition trends of material would have a counterpart removal of material, which is reflected with an identical slope in the material removal quadrant from the precursor magma composition.

These results allow us to conclude that the changes in whole rock chemical composition, during a geochemically open geological process, produces non-straightforward concentration changes caused by absolute material transfer changes that in magmatic-hydrothermal systems can be quite diverse and complicated (Calderón-Díaz *et al.* in prep).

Indeed, due to volume modifications associated with alteration equilibrium reactions which either allow porosity increase or decrease, modifying rock density (e.g., Skarn alteration, calcite to garnet and pyroxene, causes volume reduction, porosity increase, allowing hydrothermal fluid influx and sulfide mineralization). All in all, hydrothermal alteration and mineralization can cause a significant increase of rock density. The opposite can also occur, hydrolytic alterations for example, strong leaching of rock, leading to density reduction.

Also, relative material transfer in hydrothermal systems is more limited than in normal magmatic systems. Mainly in the latter, the ratio of relative material changes between Sc and V corresponds to three rates of perfectly identifiable material addition: $\%dm_V:\%dm_{Sc} = 1:1, 1:3$ y $8:1$ (Figure 6).

The series of rocks with a relatively constant $\%dm_V:\%dm_{Sc} = 1:1$ ratio suggest affinity between Sc³⁺ and V³⁺, and display V/Sc signatures of a reducing magma evolving towards magnetite fractionating magma signature. The least evolved samples, those with the highest Sc

concentrations, are the result of addition of Sc, V, TiO₂ and Fe₂O₃, to the precursor magma, evolving to magmas with variable and limited material transfer for this group of elements.

The series of rocks displaying %dm_V:%dm_{Sc} = 1:3 ratios are interpreted to be generated by early-stage fusion of hydrated sources, resulting in oxidized magmas with the addition of Sc over that of V. Along with a V/Sc signature and Sc concentration corresponding to magnetite fractional crystallization, there will be V and Fe₂O₃ remotion, plus addition of SiO₂.

Finally, rocks within the %dm_V:%dm_{Sc} = 8:1 ratio correspond to rocks with variable V/Sc signature, Zr removal and variable Sc behaviour within limited ranges. Those related to the Copper Porphyry field come from magmas that strongly add V, along with TiO₂ and Fe₂O₃, and are affected by removal of SiO₂ and Al₂O₃, due to the fractional crystallization of Sc-bearing silicate minerals in hydrated magmas.

In Figure 7 the Isomass results are overlain to the V/Sc versus Sc composition, they allow to conclude that: (a) the early stages of magma crystallization correspond to material addition of elements related to iron-bearing silicate phases along with removal of Al₂O₃ and SiO₂, and as differentiation progresses there is addition of these last elements; (b) according to magnetite/ilmenite fractionation and depending on the changes in magmatic conditions, there is material addition of SiO₂ along with the removal of Sc, V, Fe₂O₃ and TiO₂; (c) according to fractionation of amphibole or clinopyroxene material transfer there is a strong addition of V, along with removal or slight addition of Sc.

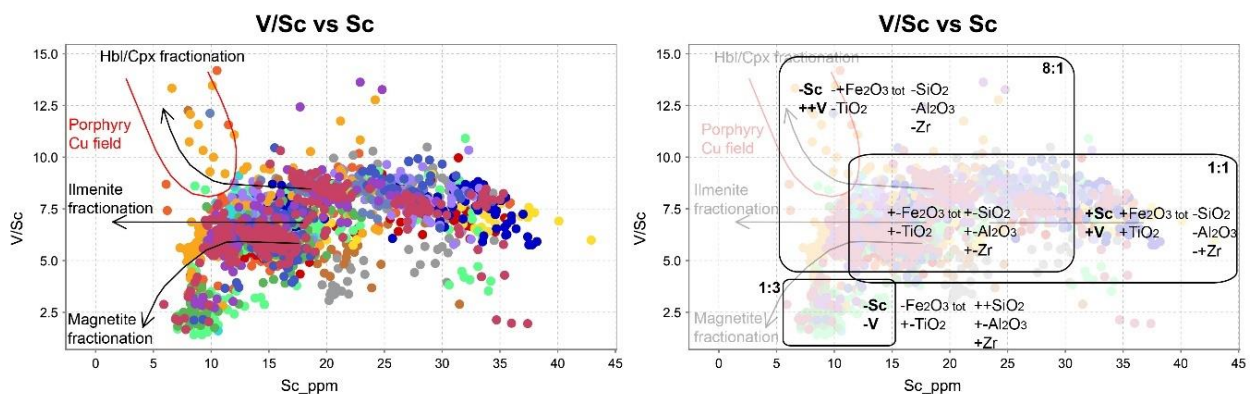


Figure 7. Discrimination diagram of V/Sc signatures versus Sc (Halley, 2020) with superimposition of Isomass results according to the differentiation series obtained in Figure 5. The ratios next to the boxes correspond to ratio V:Sc in %dm. Legend as in Figure 6.

5. Porphyry Cu field compositions.

Isomass results allow us to conclude that former interpretations about the effects of fractional crystallization of amphibole rather than magnetite in hydrated (oxidized) magmas are tested: remotion rates of Sc over that of V. Although, there are other material transfer combinations that may give place to Porphyry Cu field compositions. In effect, Porphyry Cu field Sc and V concentrations (ppm) are related to intensive material addition of one and the other of those elements (Figure 3). Furthermore, $\%dm_{Sc}$ and $\%dm_V$ values most fulfil one of the following requirements: (1) higher Sc removal than that of V; (2) low V addition ($\%dm_V < -75 \%$); or (3) higher V addition along with Sc removal (Figure 8).

Combination 1 of material transfer coincides with the interpretation in origin of a highly oxidizing hydrated magma that fractionate hornblende and/or clinopyroxene before magnetite, in order for V^{+3} and Sc^{+3} to replace iron in magnetite. Then, Sc is lost faster than V.

Combination 2 of material transfer is interpreted as exsolution of iron-bearing minerals, incorporating Sc into secondary magmas faster than V. If fractional crystallization remains similar to that of the precursor magma, the V/Sc signature will correspond to that of fractionated systems.

Combination 3 of material transfer is interpreted here as mafic systems in which the initial Sc mass is higher than that of V, then Sc remotion via iron-bearing silicate minerals fractionation will diminish Sc mass towards differentiated magmas.

Figure 8a illustrates the precursor rock compositions to either combination and different transects, it includes the $\%dm_i$ calculated for SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 and MgO (Figure 8b). This reveals that there is a differentiation path related to progressive addition of silica, alumina and zirconium from higher towards lower V/Sc and Sc values.

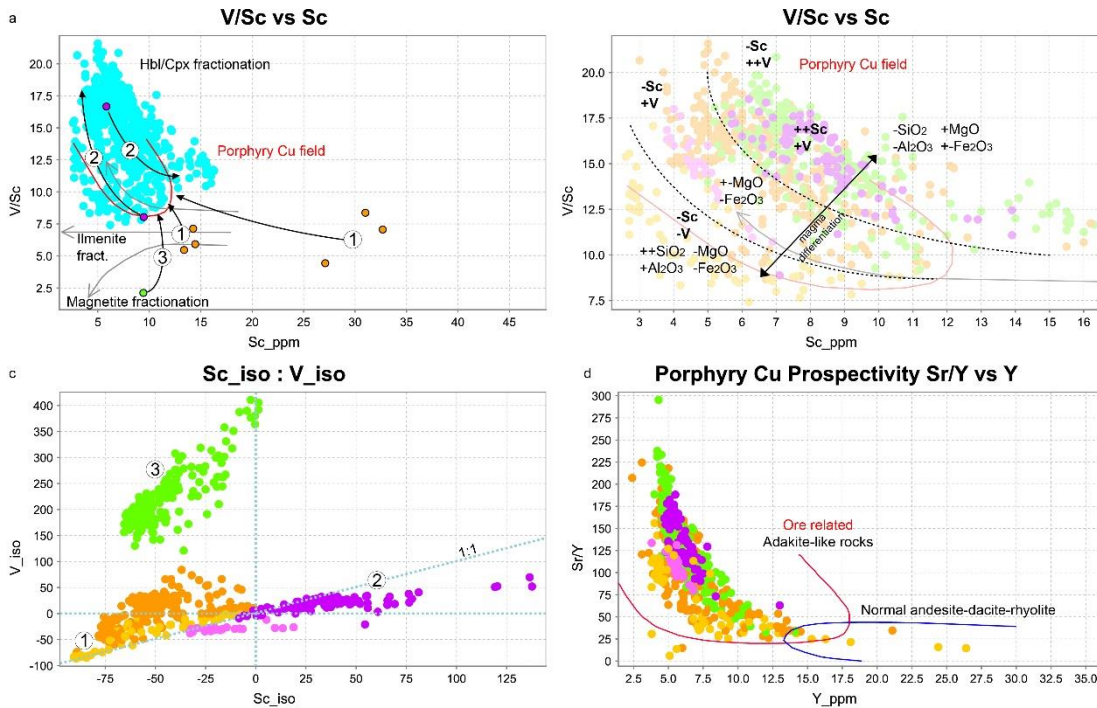


Figure 8. (a) Porphyry Cu field samples according to V/Sc signatures versus Sc (Halley, 2020) (b) overlaid by Isomass results; (c) Relative material transfer plot of Sc versus V (number explanation in text); and (d) Prospectivity Y versus Sr/Y plot (Richards & Kerrich 2007).

6. Ore related compositions.

Figure 9 illustrates Sr and Y concentration and relative material transfer data. It reveals that there are four material transfer combinations that generate the Sr/Y signatures and Y compositions related to ore: (1) high addition of Sr ($\%dm_{Sc} > 250\%$) along with variable $\%dm_Y$; (2) moderated Sr addition along with Y removal (mainly $\%dm_Y < -50\%$); (3) Y addition along with conservation of Sr; and (4) Sr and Y removal (Figure 9c).

Combination 1 of material transfer are rocks that display higher values of Sr, Rb, La and K₂O (Figure 10Figure 13), then they are interpreted as hydrothermally generated compositions associated to K-metasomatism.

Combination 2 of material transfer tests the original interpretation made by Halley (2020) and Richards & Kerrich (2007). Preferential melting of albite in amphibolite allows Sr addition along with Y remotion via deep source minerals capture, generated by fusion of an amphibolitic source.

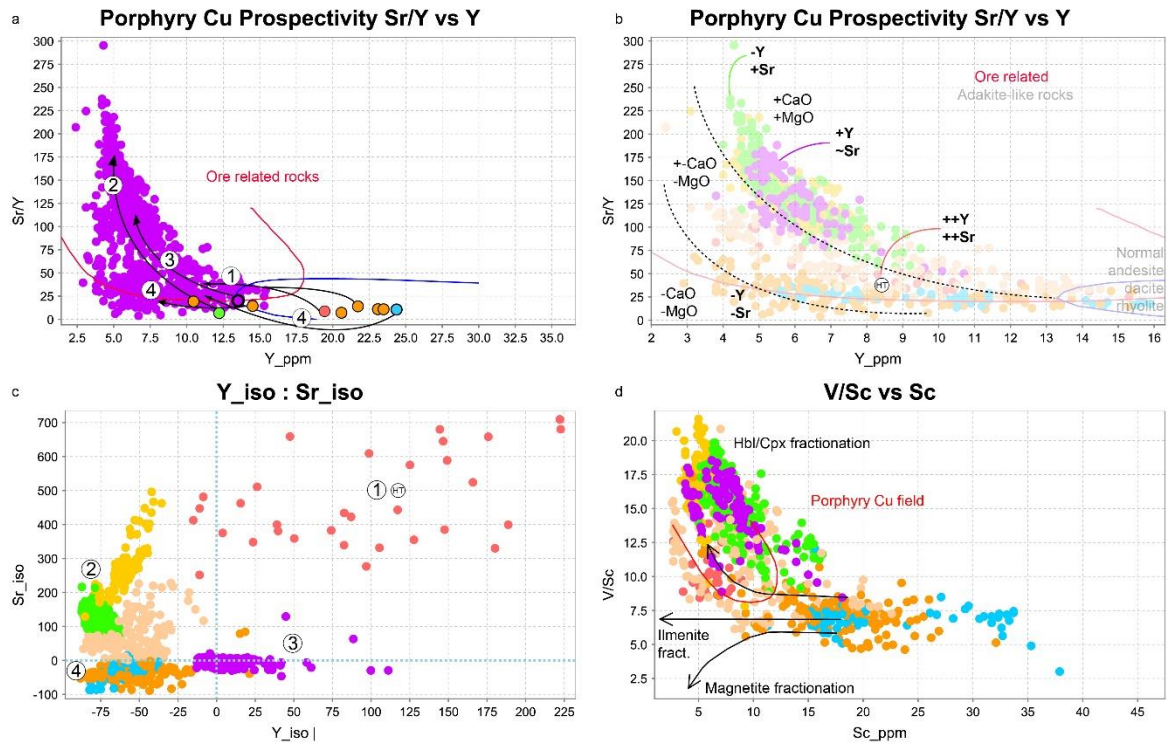


Figure 9. (a) Prospectivity plot according to Sr/Y signatures (Richards & Kerrich 2007) (b) overlaid by Isomass results; (c) Relative material transfer plot of Y versus Sr (number explanation in text); and (d) Porphyry Cu field discrimination plot according to Sc versus V/Sc plot (Halley (2020)).

Rocks belonging to the previous combinations display $\%dm_{Sr}$ between 0 and 300%, representing Sr concentrations between 250 and 1100 ppm. Also, these combinations are affected by addition of CaO and MgO.

Combination 3 of material transfer are interpreted as magma generation from higher temperature sources or residues poor in sodic plagioclase. Sr material transfer in these rocks is moderately conserved and represent Sr concentration between 100 and 500 ppm. Y is mainly added and its material transfer values represent a limited concentration range (~ 4 - 8 ppm), due to higher grades of melting. This combination adds MgO.

Combination 4 of material transfer are not classified within the Porphyry Cu field for the V/Sc signatures (Figure 4), instead they represent early stages of magnetite or ilmenite fractionation. Their origin is interpreted to come from a high pressure hydrated source plus titanite fractionation. The former is coincident with CaO removal (along with MgO removal).

7. Coherent mobility and high prospectivity transects.

Figure 10 illustrates the contrast information that is obtained when interpreting data from concentration variation diagrams versus relative material transfer plots. Major elements variation diagrams represent an overall inverse correlation of the pair $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$, an overall direct correlation of the pairs $\text{Rb} - \text{K}_2\text{O}$ and $\text{Sr} - \text{CaO}$, and a highly dispersed $\text{Ba} - \text{La}$ data.

On the contrary, relative material transfer plots do not necessarily correlate variables in the same way: the pair $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ are dispersed, interpreted here as differentiated mobility; the pair $\text{Rb} - \text{K}_2\text{O}$ are correlated in a 1:1 ratio and 2:1 ratio, interpreted as coherent mobility, but doubled material transfer as alteration progress; the pair $\text{Sr} - \text{CaO}$, although more dispersed, lays on a 1:1 and a $>1:0.6$ ratio; finally, the pair $\text{Ba} - \text{La}$ lays on a 1:1 and a 2.5:1 ratio.

Figure 11 illustrates alteration processes evaluated through general molar ratios (Stanley & Madeisky 1996) and Ca-K-Na , Al-K-Mg and Ca-Fe-S ternary diagrams (Halley 2016 2020), overlaid by Isomass results referring to addition (+), removal (-) or conservation (~) of elements.

In general terms, the data of high prospectivity transects plot along the albite – potassic feldspar tie line and along the muscovite – albite tie line (Figure 11a), towards the adularia, muscovite and slightly to the advance argillic alteration nodes (Figure 11b), towards the $\text{K} - \text{Na}$ side (Figure 11c), and towards the pyrite, anhydrite and chlorite nodes (Figure 11d).

The least altered rocks are represented by the transects plotted as green and purple dots in Figure 11. They are not necessarily coincident with the unaltered or the least altered fields of Halley (2020).

More specifically, rocks associated to potassic feldspar (adularia) and anhydrite alteration processes display relative material transfer that indicate high addition of K_2O , Na_2O , Al_2O_3 , CaO , SiO_2 and S , along with removal of MgO and Fe_2O_3 .

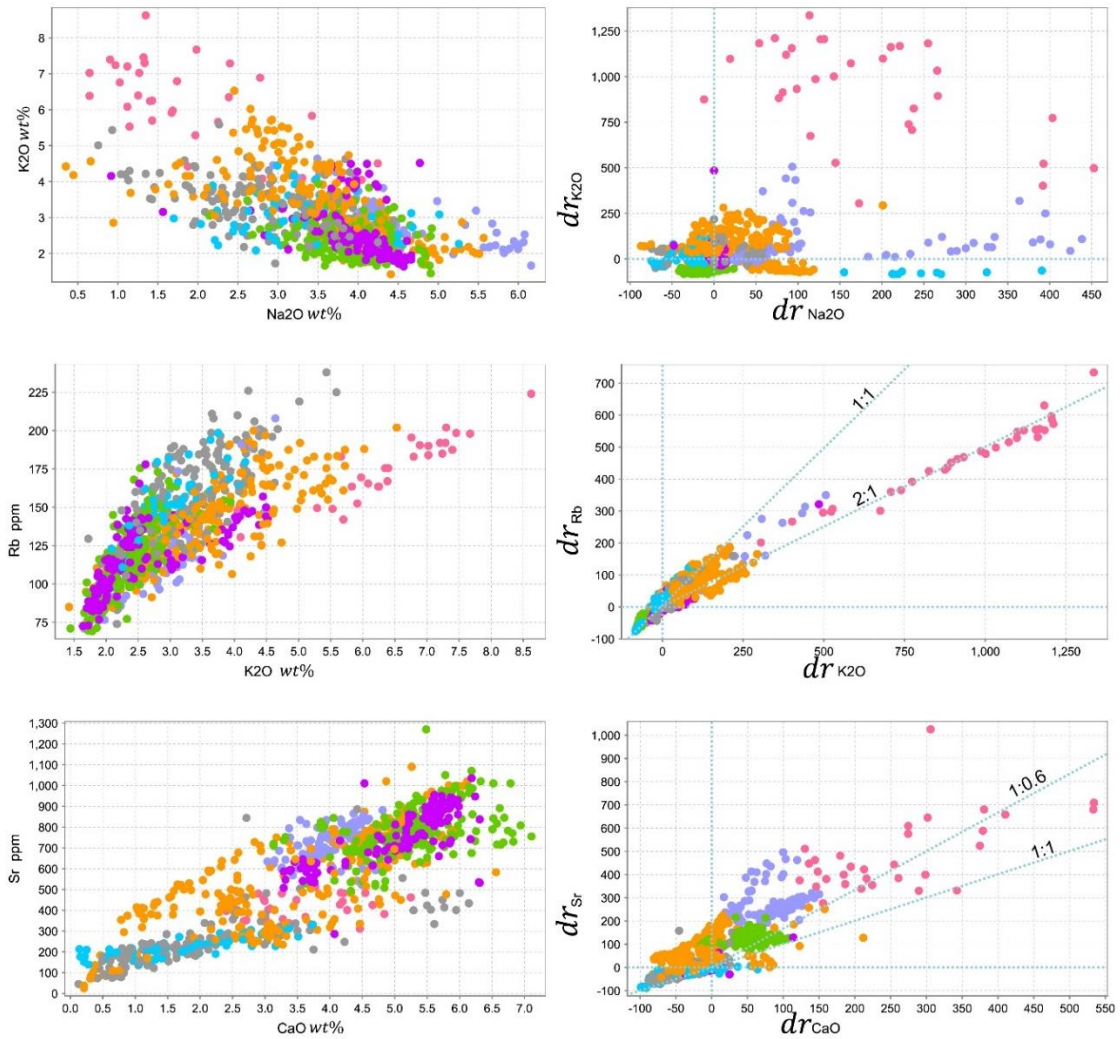


Figure 10. Concentration variation plots and relative material transfer plots for the pairs Na₂O – K₂O, K₂O – Rb and CaO – Sr. Lines illustrate x:y ratios of each pair. Legend as in Figure 12.

Rocks associated to muscovite or sericite - pyrite alteration processes display relative material transfer that estimate addition of K₂O, SiO₂ and S, along with removal of CaO and MgO, and variable behaviour of Al₂O₃, Fe₂O₃ and Na₂O.

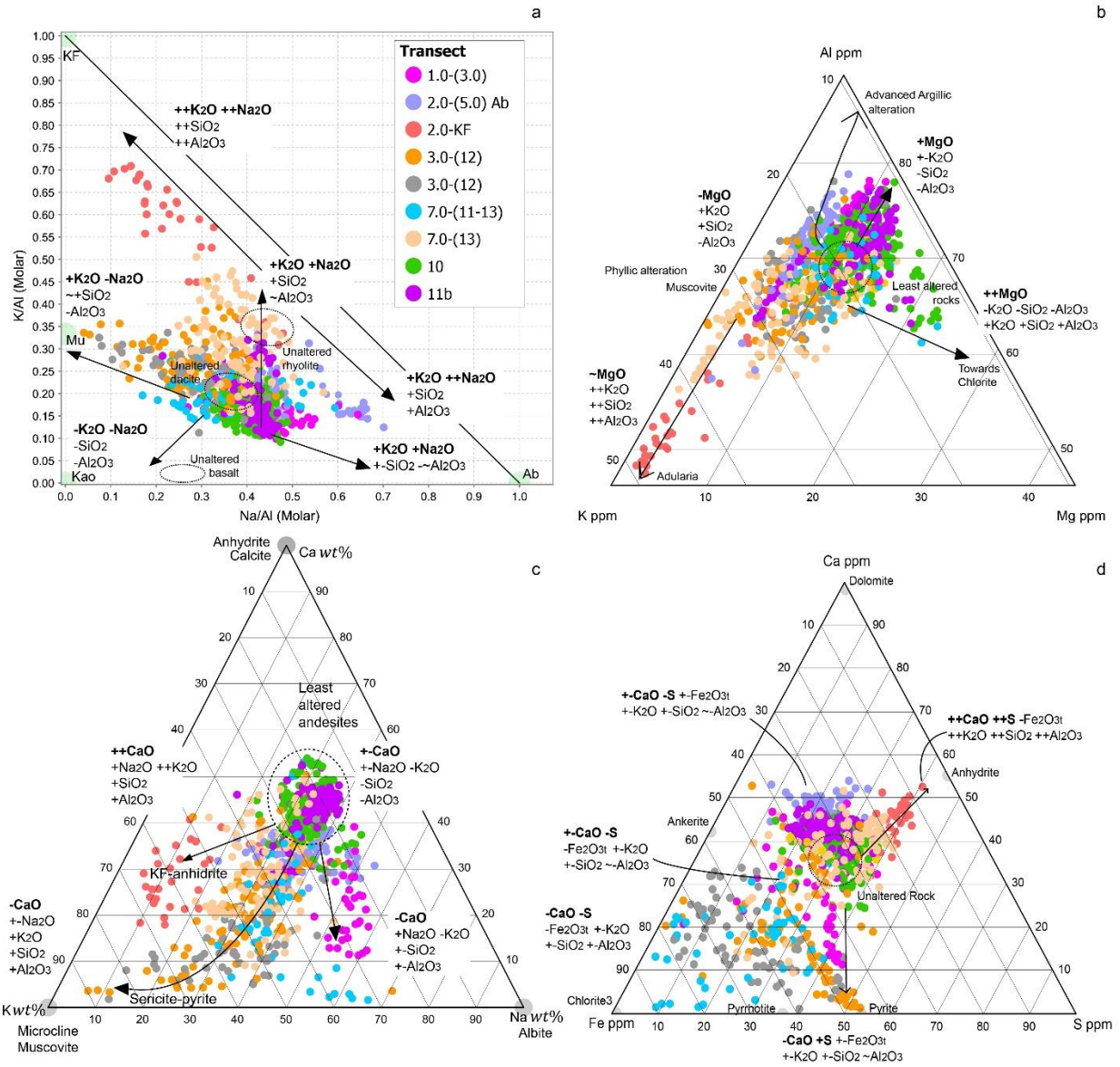


Figure 11. (a) Feldspar control Na-K general element ratio diagram (Stanley & Madeisky 1996); (b) Al-K-Mg ternary plot for porphyry Cu field rocks (Halley et al. 2015); (c) Ca-K-Na ternary plot (Halley 2020); and (d) Ca-Fe-S ternary plot (Halley 2020). Overlain values represent material transfer result of each element.

Rocks associated to albitization, through the muscovite – albite and potassic feldspar – albite tie line, plot in the vicinity of the here considered least altered rocks. Also, they display addition to high addition of Na_2O , MgO and CaO removal, along with variable material transfer of Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 and S . Furthermore, to pass from precursor or least altered basaltic to dacitic compositions to the potassic feldspar - albite tie line compositions, it is needed to add K_2O , SiO_2 and Al_2O_3 .

According to Andrews-Jones (1968), mobility of Si, K and Fe is lower at neutral pH, very low for Al and high for K, Mg and Ca. Also, at neutral-pH zones within the hydrothermal system, rock compositions tend to the albite node (Halley 2020). Our results confirm addition of these elements along with removal of Fe_2O_3 , CaO and S.

On the other hand, rocks that lie over the muscovite – albite tie line, tend to conserve mass of SiO_2 , Al_2O_3 and MgO. Also, if Na_2O is added, muscovite crystallization seems to be limited, giving place to albite node compositions or potassic feldspar if K_2O is greatly added.

We also conclude that, compositions towards anhydrite and pyrite have contrasting CaO material transfer: the former greatly adds CaO and S in a 1:1 ratio, the later loses CaO and adds S. These last rocks are expected to lie over the pyrite line in Figure 12 and, according to Halley (2016), they would gain S in a 1:2=Fe:S ratio using iron formerly present in the rock. Relative material transfer indicates that the addition and removal of Fe_2O_3 and S occurs in a $\%dm_{\text{Fe}} : \%dm_{\text{S}} = 1:1$ ratio.

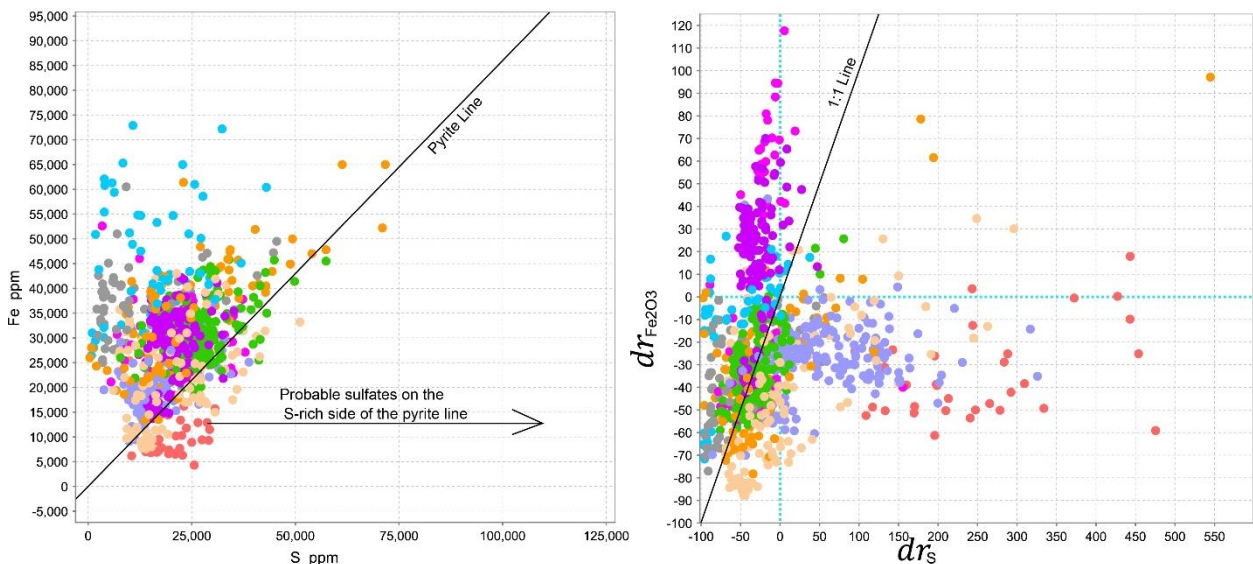


Figure 12. (a) S versus Fe concentration variation plot (Halley 2020); (b) Porphyry Cu field discrimination plot according to Sc versus V/Sc plot (Halley 2020); and (c) relative material transfer plot of S and Fe_2O_3 . Line represents 1:1 ratio. Legend as in Figure 12.

8. Coherent mobility in magmatic-hydrothermal systems.

Figure 13 illustrates relative material transfer plots of selected major and trace elements considering all samples from all transects in the magmatic-hydrothermal system. There is an

overall linear trend of relative material transfers of the pairs SiO_2 - Al_2O_3 , Al_2O_3 - Ga, La - Ce y Nb - Ta.

However, there are slope breaks in higher $\%dm$ values, changing SiO_2 : Al_2O_3 and Al_2O_3 :Ga ratios from 1:1 to 2:1 and 1:2, respectively. The pairs Nb - Ta and La - Ce data are displayed closer to 1:1, although it is still possible to observe a break in tendency.

These results and the former (Figure 10 and Figure 13) imply that as alteration increases, major element doubles the relative addition of trace elements to the system, as well as silica over alumina relative material transfer does. On the other hand, trace element coherent mobility is sustained throughout the magmatic and hydrothermal processes, as Nb - Ta and La - Ce illustrate.

Finally, there are huge differences between relative material transfer of transects when comparing index elements such as Mn, Mo, Zn and Ag for alteration processes and sources of origin (Figure 13. Averill 2001; Cohen & Bowell 2014).

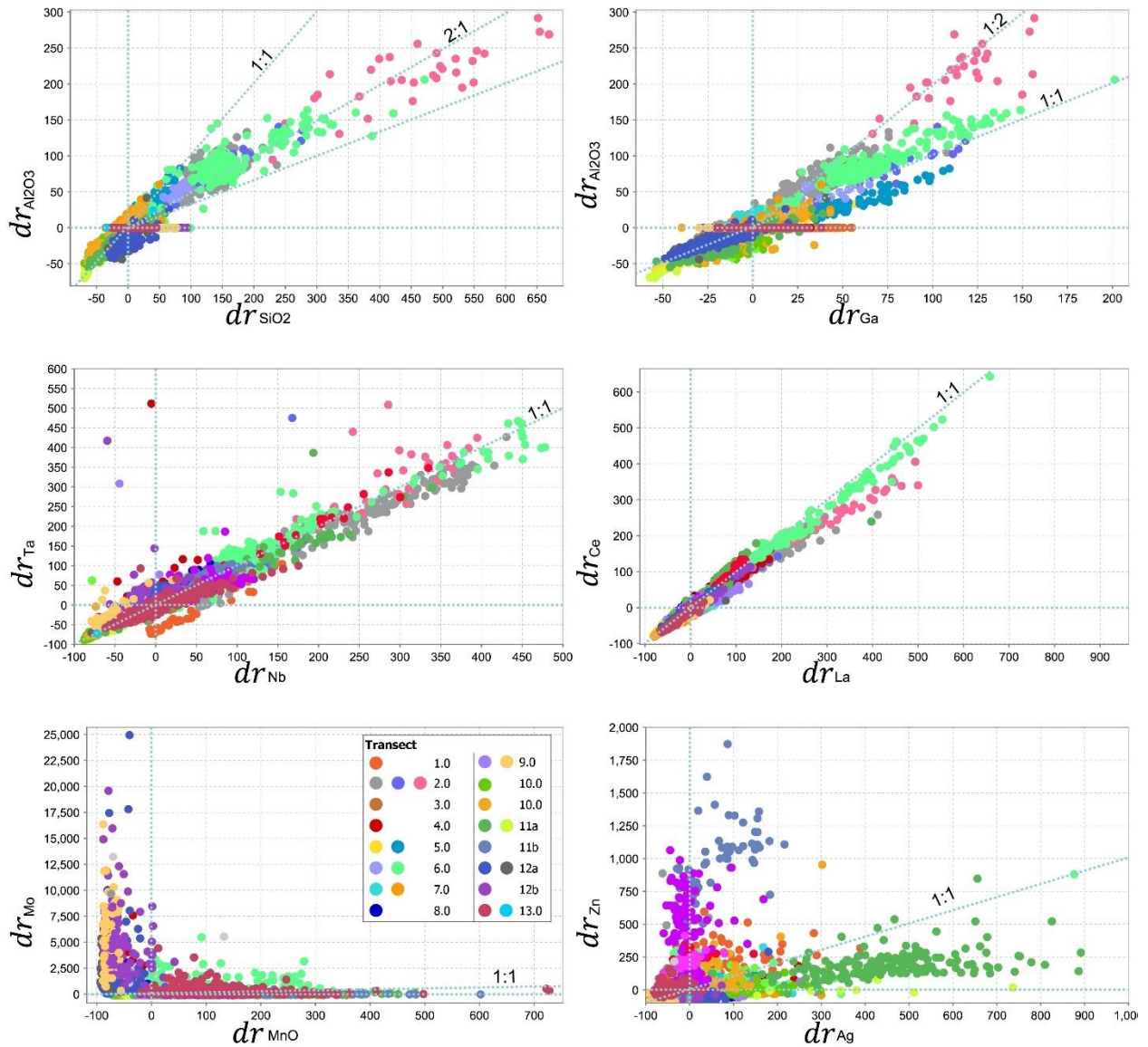


Figure 13. Relative material transfer plots for the pairs $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Ga} - \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Ta} - \text{Nb}$, $\text{La} - \text{Ce}$, $\text{MnO} - \text{Mo}$ and $\text{Ag} - \text{Zn}$. Lines illustrate $x:y=1:1$ ratios of each pair. Legend for transects: color means increasing alteration to the right.

9. Discussions.

The Isomass model used to identify conserved elements (Calderón-Díaz *et al.* in prep) over nearly 3500 samples, grouped in 13 transects, representing a magmatic-hydrothermal system allows to elucidated material transfer processes and quantify them at a high sampling scale. It allows to discriminate effects of material transfer on normal magmatic rock chemistry over alteration chemistry. Also, these results provide further information for process interpretations that are limited or erratic when interpreted only through concentration changes.

The multielemental geochemical analysis might be enhanced through using the Isomass methodology, because it generates subgroups within lithological and geochemical groups.

Discrimination diagrams directly based on rock chemistry, or elemental ratios and molar ratios, are improved when Isomass relative material transfer results are overlain for a correct conservative element when they exist.

Considering elemental material transfer within a magmatic-hydrothermal system might contribute to find the material transfer processes operating from one to another zone, geologically or chronologically coherent with given interpretations. Three-dimensional graphical distribution of Isomass results is promoted to be compared with magmatic-hydrothermal interpretative models, in order to validate or reject them. And could provide improved exploration vectoring techniques for mining exploration targeting.

10. Conclusions.

The application of the Isomass method to large geochemical databases, generated through digestion by four acids in conjunction with ICP-AES-MS analytical methods for multielement geochemistry, is satisfactory and allows the development of new interpretations, the confirmation of others and reveals contradictory behaviour of elements when interpreted from a concentration perspective only.

In the studied magmatic-hydrothermal system, the conserved elements are: Al_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 , Na_2O , Be, V and Sc. The elements displaying the highest relative material transfers are: As, Ba, In, Mo, Pb, Re, Sb and, in a lower level, Ta, W, Zn and Zr. The elements displaying the highest removal relative material transfers are: As, Mo, Re, S, Sb, Th and, in a lower level, Bi, Co and Zr. These results were obtained from different transects, precursor samples and conserved elements.

The slope observed in concentration versus %dm plots is representative of the mobility of elements: a flat slope represents a conserved element. There are elements scarcely transferred and elements highly transferred considering their %dm < 15 % or > 60 %, respectively. Furthermore, there are elements that display inversely transferred paths: their relative material transfer is higher when concentration is diluted and vice versa.

The characterization of magmatic-hydrothermal systems via concentration variation diagrams (binary or ternary) and through molar ratio diagrams should be contrasted with Isomass relative material transfer results. These results reveal magmatic differentiation series and alteration processes that are otherwise not detected.

It is thus determined that there are fractionation patterns associated to material transfers of Sc, V, Ti, Fe, Si, Al and Zr through the recognition of different magmatic series using $\%dm$ plots of Sc and V. Although Ti and Fe discriminate subseries, the pair Sc – V is more sensitive and its use is promoted. The series identified here display $\%dm_V:\%dm_{Sc} = 1:1$ associated to reducing magmas evolving towards magnetite fractionating magmas, $\%dm_V:\%dm_{Sc} = 1:3$ associated to early-stage melting of hydrated sources, and $\%dm_V:\%dm_{Sc} = 8:1$ associated to the fractional crystallization of Sc-bearing silicate minerals in hydrated magmas.

The early stages of magma crystallization correspond to material addition of elements related to iron-bearing silicate phases. As differentiation progresses there is addition of Al_2O_3 and SiO_2 . Magnetite/ilmenite fractionation implies SiO_2 along with removal of Sc, V, Fe_2O_3 and TiO_2 . Fractionation of amphibole or clinopyroxene implies strong addition of V, along with removal or slight addition of Sc.

Isomass results applied to alteration characterization allows us to conclude that alteration to feldspars over sericitization implies great addition of alkalis. Also, elements typically considered as immobile at neutral pH are indeed affected by important material transfer processes. Furthermore, anhydrite alteration paths imply great addition of CaO and S in a 1:1 ratio and pyrite alteration paths imply removal of CaO and relative material transfer ratios of $S:Fe_2O_3 = 1:1$.

Affinity of elements are revealed by relative material transfer plots of the pairs $K_2O - Rb$, $SiO_2 - Al_2O_3$, $Al_2O_3 - Ga$, Nb - Ta and La – Ce, although they depart from one-to-one replacement as alteration progresses. Plus, objective or indicator elements such as Mn, Mo, Zn and Ag efficiently discriminate alteration zones as relative material transfer results are plotted.

Finally, the material transfer relations are not evident from concentration variation diagrams, which is surpassed applying the Isomass method.

Acknowledgment

We acknowledge the assistance provided to the authors by the technical and administrative team of the Geology Department of the Universidad de Chile. Funding for this work was supplied by the National Agency for Research and Development, Chile [ANID grant 21080725/ formerly Science and Technology National Commission - CONICYT].

References

- Andrews-Jones, D. A., (1968). The application of geochemical techniques to mineral exploration. Colorado School of Mines. Mineral Industries Bulletin. Vol. 11, no. 6.
- Averill, S.A., (2001). The application of heavy indicator mineralogy in mineral exploration, with emphasis on base metal indicators in glaciated metamorphic and plutonic terrain. In: McClenaghan MB, Bobrowski PT, Hall GEM, and Cook SJ (eds.) Drift Exploration in Glaciated Terrains. Geological Society Special Publication 185, pp. 69–82. London: Geological Society of London.
- Bernal, J.P. and Railsback, L.B., 2008. Introducción a la Tabla Periódica de los Elementos y sus iones para Ciencias de la Tierra. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 25, no. 2, p. 236-246.
- Caciagli, N., 2015. Multielement Geochemical Modelling for Mine Planning: Case Study from an Epithermal Gold Deposit. In Compositional Data Analysis: CoDaWork, L'Escala, Spain, June 2015 6 (p. 45–61). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44811-4_4
- Calderón-Díaz and Townley, (in prep.). The Isomass Method: finding conserved elements in geochemically open geological processes.
- Chiaradia, M., Ulianov, A., Kouzmanov, K. y Beate, B., 2012. Why large porphyry Cu deposits like high Sr/Y magmas? Scientific Reports (Nature). Vol. 2, article 685, 7 p. <http://dx.doi.org/10.1038/srep00685>

- Cohen, D.R. and Bowell, R.J., (2014). Exploration Geochemistry. Treatise on Geochemistry, 24th ed. Elsevier, Oxford, p. 624-649. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01127-X>
- Escolme, A., Berry, R., Hunt, J., Halley, S. and Potma, W., 2019. Predictive models of mineralogy from whole-rock assay data: Case study from the Productora Cu-Au-Mo deposit, Chile, *Economic Geology*, Vol. 114, no. 8, p. 1513-1542. <http://dx.doi.org/10.5382/econgeo.2019.4650>
- Grant, J.A., 2005. Isocon analysis: A brief review of the method and applications. *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. 30, p. 997-1004. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2004.11.003>
- Halley, S.W., Dilles, J.H., and Tosdal, R.M., 2015, Footprints: Hydrothermal alteration and geochemical dispersion around porphyry copper deposits: SEG Newsletter, no. 100, p. 12–17. <https://doi.org/10.5382/SEGnews.2015-100.fea>
- Halley 2020 Mapping Magmatic and Hydrothermal Processes from Routine Exploration Geochemical Analyses. *Economic Geology*. Vol. 115, no. 3, p. 489–503. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4722>
- Iveson, A.A., Rowe, M.C., Webster, J.D., y Neill, O.K., 2018. Amphibole-, clinopyroxene- and plagioclase-melt partitioning of trace and economic metals in halogen-bearing rhyodacitic melts. *Journal of Petrology*, Vol. 59, no. 8, p. 1579–1604. <https://doi.org/10.1093/petrology/egy072>
- Li, Z.X.A., y Lee, C.T.A., 2004, The constancy of upper mantle fO₂ through time inferred from V/Sc ratios in basalts. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 228, no. 3–4, p. 483–493. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.10.006>
- Lopez Molinero, A., & Molinero, A. L. (1998). Silicon determination by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry after generation of volatile silicon tetrafluoride. *Talanta*, 45(6), 1211–1217. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(97\)00231-2](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(97)00231-2)

- Loucks, R.R., 2014, Distinctive composition of copper-ore-forming arc magmas. *Australian Journal of Earth Sciences*, Vol. 61, no. 1, p. 5–16.
<https://doi.org/10.1080/08120099.2013.865676>
- Magaldi, T.T., Navarro, M.S., y Enzweiler, J., 2019, Assessment of dissolution of silicate rock reference materials with ammonium bifluoride and nitric acid in a microwave oven. *Geostandards and Geoanalytical Research*, Vol. 43, no. 1, p. 189–208.
<https://doi.org/10.1111/ggr.12242>
- Richards, J.P., y Kerrich, R., 2007, Special paper: Adakite-like rocks: Their diverse origins and questionable role in metallogenesis. *Economic Geology*, Vol. 102, no. 4, p. 537–576.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.102.4.537>
- Richards, J.P., 2011, High Sr/Y arc magmas and porphyry Cu ± Mo ± Au deposits: Just add water. *Economic Geology*, Vol. 106, no. 7, p. 1075–1081.
<https://doi.org/10.2113/econgeo.106.7.1075>
- Richards, J.P., Spell, T., Rameh, E., Razique, A., y Fletcher, T., 2012. High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu ± Mo ± Au potential: Examples from the Tethyan arcs of central and eastern Iran and western Pakistan. *Economic Geology*, Vol. 107, no. 2, p. 295–332. <https://doi.org/10.2113/econgeo.107.2.295>
- Russell, J.K., and Stanley, C.R., 1990. A theoretical basis for the development and use of chemical variation diagrams. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 54, p. 2419–2431.
[https://doi.org/10.1016/0016-7037\(90\)90229-E](https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90229-E)
- Shervais, J.W., 1982. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 59, no. 1, p. 101–118. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X\(82\)90120-0](http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X(82)90120-0)
- Stanley, C.R., y Madeisky, H.E., 1996, Lithogeochemical exploration for metasomatic zones associated with hydrothermal mineral deposits using Pearce element ratio analysis. British Columbia, Canada, Mineral Deposit Research Unit, Short Course Notes on Pearce Element Ratio Analysis, 99 p.

Toplis, M.J., and Corgne, A., 2002. An experimental study of element partitioning between magnetite, clinopyroxene and iron-bearing silicate liquids with particular emphasis on vanadium. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 144, no. 1, p. 22–37.

<http://dx.doi.org/10.1007/s00410-002-0382-5>

Williams-Jones, A.E., and Vasyukova, O.V., 2018, The economic geology of scandium, the runt of the rare earth element litter. *Economic Geology*, Vol. 113, no. 4, p. 973–988.

<https://doi.org/10.5382/econgeo.2018.4579>

9 Otros resultados de Isomasas.

Al aplicar la metodología Isomasas a los ejemplos expuestos en esta Tesis, resulta común que se identifiquen elementos trazas como conservados. Varios resultados llaman la atención en cuanto a la clasificación de estos elementos en el sentido hasta aquí expuesto: adición, remoción o conservación.

En general, se comprueba el comportamiento esperado de que los Elementos Trazas de gran radio y baja carga o potencial eléctrico, incluyendo a las Tierras Raras Livianas, sean considerados como removidos en todos los ambientes. Este es el caso del Rb, Sr, La, Eu, entre otros. Excepcionalmente, el Ba es considerado como conservado para una serie de rocas plutónicas.

Lo que resulta interesante es el hecho que en algunos casos elementos de los cuales se espera un comportamiento conservado, son en realidad removidos desde la composición precursora. Ejemplo de esto son: Ni, Cr, V, Zr, Hf, entre otros.

A continuación, se presentarán los resultados por ambientes geológicos en relación a los resultados de elementos mayores.

9.1 Isomasas aplicado a Perfiles de Meteorización.

Los Elementos Trazas identificados como conservados en esta Tesis para perfiles de meteorización y paleo-meteorización pueden dar resultados muy coherentes y análogos a aquellos obtenidos por elementos típicamente considerados como “conservados”, por ejemplo: Al_2O_3 , TiO_2 y P_2O_5 , dependiendo del contexto geológico en estudio. Este es el caso de los resultados obtenidos para el Hf, análogo al TiO_2 , o del Ga, análogo al Al_2O_3 , en el caso de las muestras del perfil de suelos en Jiang (Anexo C, Figura C.1) y del par Yb-Lu en el perfil de paleo-meteorización de una granodiorita (Condie et al., 1995). El Ga^{+3} frecuentemente substituye al Al^{+3} y al Fe^{+3} en minerales formadores de roca comunes, dadas las similitudes de radio iónico (Burton y Culkin, 1978, en Wood y Samson, 2006).

El perfil de suelo de Jiang et al. (2018) se diferencia del de paleosuelo de Condie et al. (1995) en que, el primero proviene de remoción general de Zr, excepto en la zona superficial, y que el último tiende ser generado a través de remoción de Ta y Hf con adición de Nb y Sc. Para el perfil

de suelo proveniente de la meteorización de basalto, la relación $\% dr_{Ta} : \% dr_{Nb}$ es 1:1 y dentro de rangos muy acotados, que permiten indicar que son mayormente conservados (Figura 9.1).

La razón Zr/Hf estaría controlada por circón y la relación de reemplazo entre Ti, Hf y Zr estaría controlada por la presencia de oxi-hidróxidos de Fe (Jiang et al., 2018; Zack et al., 2002; Bea et al., 2006; Schmidt et al., 2008).

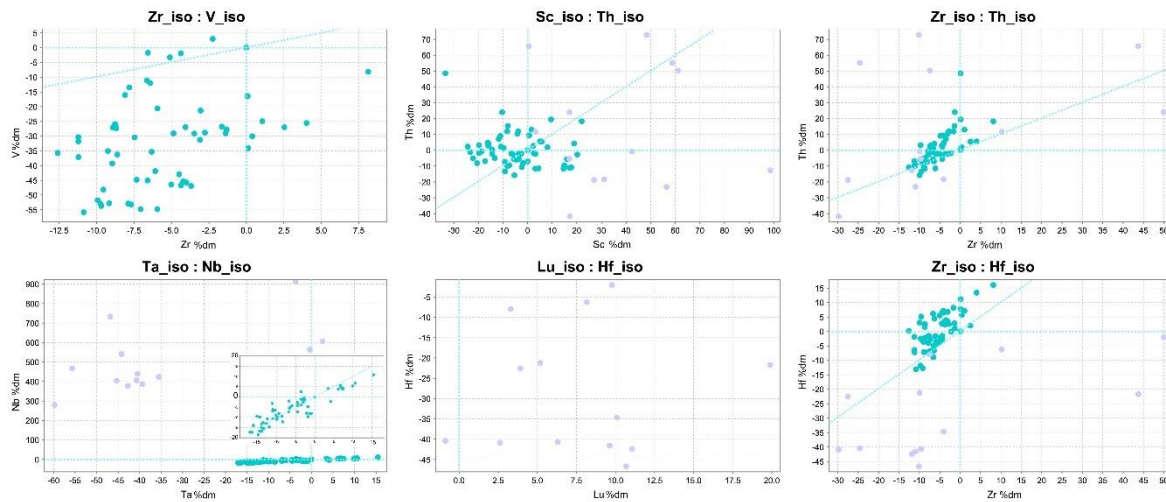


Figura 9.1. Variación de cambio porcentual de masa para suelo Jiang et al. (2018) y paleosuelo (Condie et al., 1995) de los pares de elementos Zr-V, Sc-Th, Zr-Th, Nb-Ta, Lu-Hf y Zr-Hf.

Jiang et al. (2018, en sus Figuras 4 y 9), determina que varios elementos se ven enriquecidos con respecto a la roca basáltica de la cual proviene el suelo analizado y que la mayoría de los elementos se ven lixiviados y reconcentrados en las partes inferiores y medias del perfil, y en la interfaz regolito-roca. Sin cuestionar las conclusiones del texto referenciado, resulta que la relación entre algunos elementos se ve desenfocada por los efectos de la mirada desde la concentración en peso. Ejemplo de esto son las razones Zr/Hf, Th/Zr y Nb/Ta. Aun cuando la estimación de movilización de Jiang et al. (2018) entrega resultados similares a los resultados presentados en esta tesis, es notoria la diferencia de resultados en la zona superficial de suelo.

El Zr (en conjunto con Nb, Ta y Th) presenta adición según Isomasas y remoción según el factor τ_{Nb} de Jiang et al. (2018, Figura 5) como se puede observar en la Figura 9.2, la variabilidad de estos elementos, representados por el par Th-Zr en la Figura 9.2, responde a una adición general de masa en zonas más superficiales y remoción general en zonas más profundas.

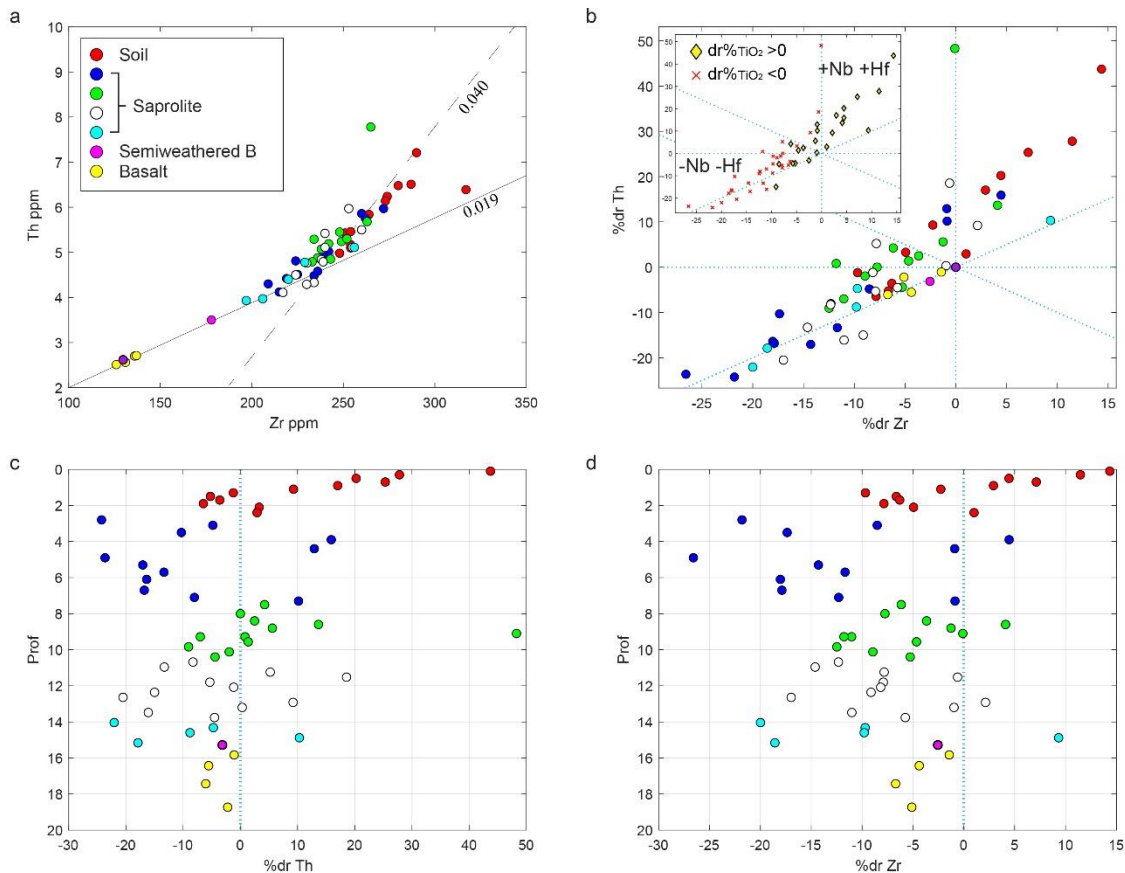


Figura 9.2. Variación composicional del par Th-Zr en concentración (ppm) y en %dr y respecto de profundidad en perfil de suelo de Jiang et al. (2018). La leyenda muestra la distribución relativa de profundidad para suelo, saprolita y basalto semimeteorizado. Recuadro inserto discrimina muestras de suelo con adición de TiO₂ (diamantes amarillos) de aquellas con remoción de TiO₂.

La variación composicional de las rocas basálticas semimeteorizadas se encuentran en la vecindad composicional de la roca basáltica precursora (bajos % dr_i), y los niveles de saprolita tienden a perder masa de Hf, Zr, Th, Nb y Ta. Las relaciones de adición/remoción de masa, se corresponden con pendientes cercanas a 1, relación que no es observable en el gráfico de concentración versus concentración (ppm vs ppm). Esa correlación cercana a 1 se corresponde con el hecho de que las muestras con adición de TiO₂ son justamente aquellas que indican adición de Th, Zr, Hf, Nb y Ta (y de Fe₂O₃) y el quiebre de pendiente de la correlación Th-Zr observado por Jiang et al. (2018) se da justamente en niveles en los cuales se comienza a adicionar esos elementos (Figura 9.2).

Otros elementos que son comúnmente considerados como enriquecidos en niveles de suelo son: Sc, V, Zr, Nb, Ta, Th, Cr, Mn, Ni y Ga (referencias en Jiang et al., 2018). Cuando se

considera al Al_2O_3 como elemento conservado durante el proceso de generación de suelo y saprolita en el perfil de Jiang et al (2018), se puede concluir que:

1. Elementos altamente removidos del sistema basáltico son: K_2O , Na_2O , CaO , MgO , SiO_2 , Rb, Sr y Cs (Mo inclusive).
2. Elementos removidos principalmente en función de los picos de pH más bajos: P_2O_5 , V, Cr, Ni, (Sc y Mo).
3. Elementos de variable comportamiento ($\pm 30\%$) a lo largo del perfil: TiO_2 , Zr, Th, Hf, Ga, Nb, Ta, MnO (y Sc).
4. Elementos altamente adicionados en el perfil de suelo, y en menor medida en el nivel de saprolita: Pb y U.

En términos de los cálculos aquí presentados, en ambientes meteóricos de generación de suelos, el par Nb-Ta se mantiene en un rango de $\pm 20\%$ cantidad relativa de transferencia de material, similar al Th, Sc y Ga.

En suma, la variación de la masa de elementos pesados típicamente reconocidos en la literatura como inmóviles y enriquecidos en niveles de suelo, son removidos hasta en un 80% (principalmente entre 40-60%) en procesos pedogenéticos. Por lo tanto, las interpretaciones lineales de enriquecimiento/empobrecimiento de los perfiles de suelo no se corresponden con las transferencias de masa porcentual aquí descrita.

En cuanto a razones de elementos, Condie et al. (1994) determina que las razones Ti/Zr, Th/Sc, Lu/Hf y Zr/Hf no cambian a lo largo del perfil con respecto de los valores de la misma razón en la Granodiorita Boulder. Si ese comportamiento se comprobara a través de la metodología Isomasas, entonces los diagramas de variación de $\% dr_i$ de cada par de elementos representarían una línea 1:1. Esto no se comprueba, pues las variaciones son dispersas y no representan un cambio de masas correlacionado en ninguna de esas razones. Sólo la razón Lu/Hf puede interpretarse como correlacionable según una pendiente de aproximadamente -0,3 y según la distancia a la discordancia, pero que no incluye a las muestras de paleosuelo más lejanas a la roca precursora.

Condie et al. (1994) consideran que las razones de Cr/Th y Co/Th disminuyen con respecto de la roca parental, sin embargo, de acuerdo con la propuesta metodológica aquí presentada, esto no se verifica, pues las relaciones de $\% dr_i$ entre esos elementos varía sin un orden específico (Figura 9.4). Esto permite comprobar que las razones de elementos construidas a partir de concentración (ppm) igualmente distorsionan los efectos de transferencia de masa.

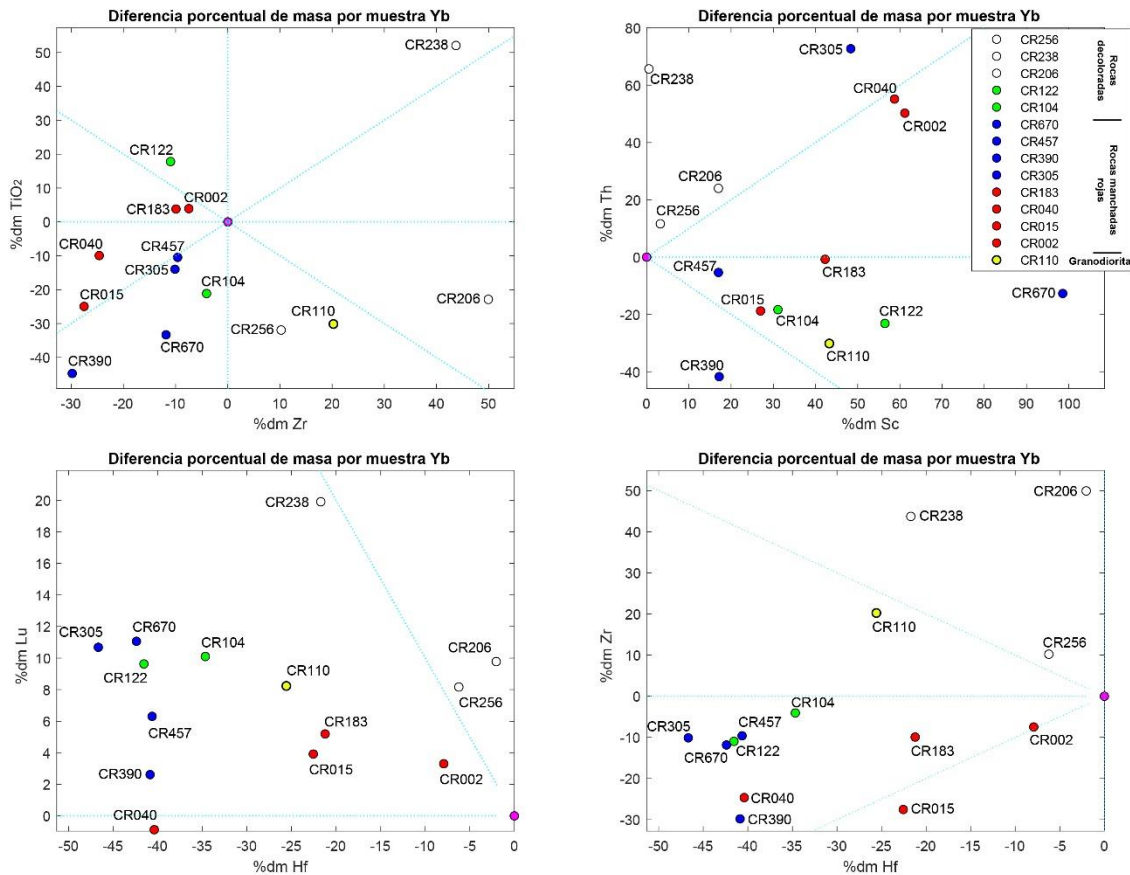


Figura 9.3. Variación de $\% dr_i$ de pares de elementos TiO₂ vs Zr, Th vs Sc, Lu vs Hf y Zr vs Hf para el perfil de suelo de Condie et al. (1995). Recuadro: distancia a la discordancia entre la Formación Fountain sobreyacente al nivel de suelo a partir de la Granodiorita Boulder. Muestra en círculo amarillo, CR110, corresponde a granodiorita.

Finalmente, Condie et al. (1994, en su Figura 10) consideran que existe un enriquecimiento general de los elementos en un 30 %, lo cual, desde la perspectiva del Yb-conservado, no es representativo del fenómeno de transferencia de masa (Anexo Figura C.3). En efecto, la mayor parte de los elementos resulta removido de la roca original a medida que se genera el perfil de suelo, particularmente el Th sería removido en gran parte del perfil y, en algunos niveles, adicionado hasta un 80 %, contrariamente a lo indicado por Condie et al. (1994).

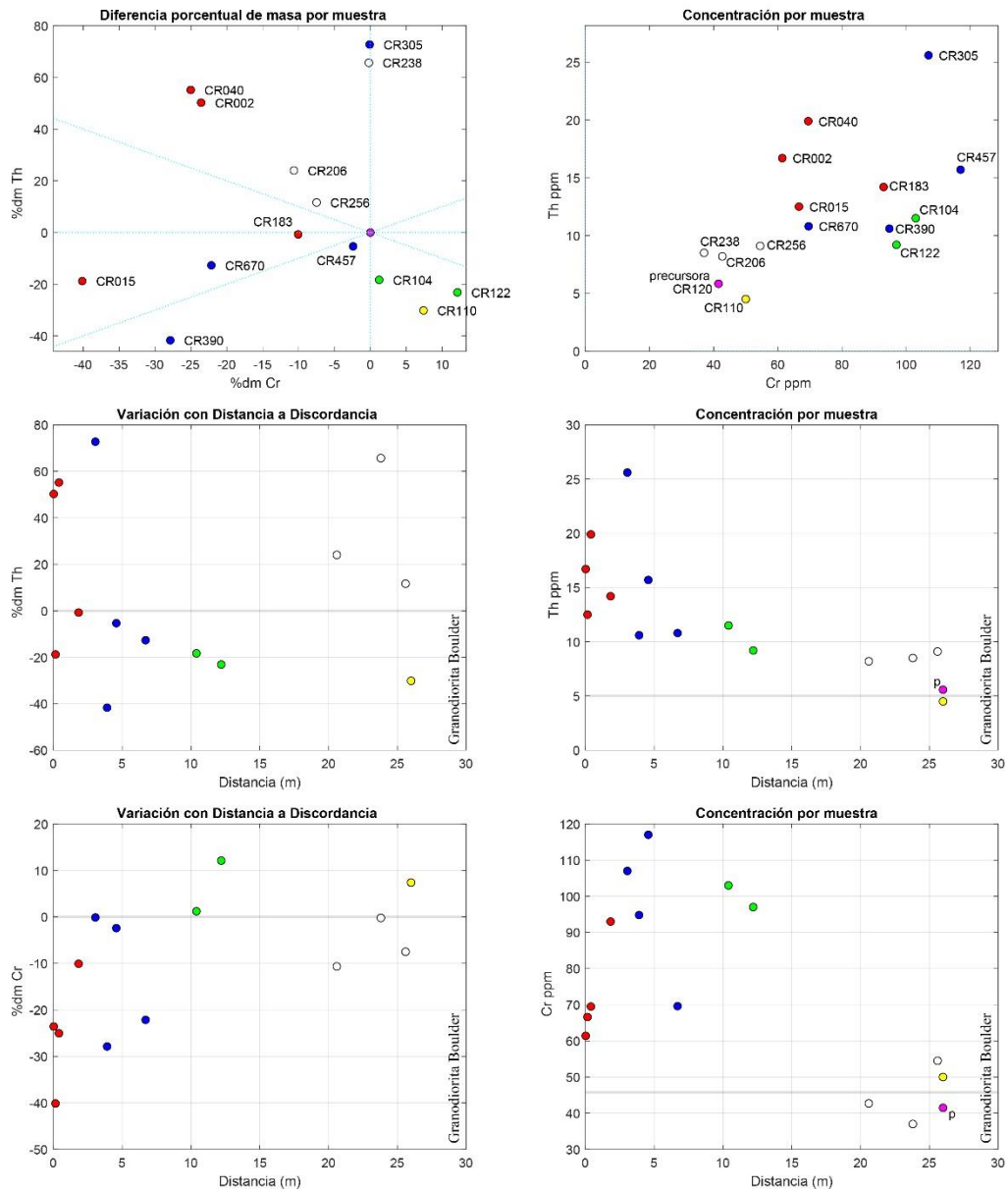


Figura 9.4. Comparación de variación de $\% dr_i/\% dr_j$ (izquierda) con X_i/X_j (derecha) según distancia a la discordancia. Precursora=p muestra CR120. Muestra en círculo amarillo, CR110, corresponde a granodiorita.

9.2 Isomasas aplicado a Lavas afectadas por Metamorfismo.

En procesos metamórficos el comportamiento de elementos trazas es variable y se confirma la analogía de resultados entre elementos conservados mayores y trazas. Para Aguirre (1988; Anexo C, Figura C.6) los resultados indican analogía entre los resultados de Al_2O_3 - y Zr-conservado. Para las lavas almohadilladas metamorfozadas de Malviya et al. (2006; Anexo C, Figura C.8.2) el análisis de Zr-conservado muestra resultados análogos al TiO_2 .

La Figura 9.5 muestra los resultados de cantidad relativa de transferencia de material ($\% dr_i$) de elementos mayores, trazas y algebra de elementos mayores para lavas de distinta composición y afectadas por diferentes grados y facies metamórficas (Aguirre, 1988; Smith et al., 1982; Shore, 1996; Malviya et al., 2006; Romeuf, 1994), incluyendo bentonitización y serpentización.

Los efectos de la gran mayoría de los tipos de metamorfismos afectando a estas rocas, ejercen limitado efecto sobre las transferencias de masa elementales. Cuestión que varía más drásticamente al estudiar series de rocas volcánicas, las cuales representan adición de CaO junto con remoción de álcalis, Cr, Y y V, a variables $\% dr_{\text{TiO}_2}$. Mientras que el resto de los procesos generan variación de TiO_2 , V e Y dentro de un rango de $\pm 20\% dr$, considerándose como mayormente conservados en esos procesos.

El proceso de bentonitización es el proceso con mayores efectos de transferencia de masa sobre la química de las rocas, particularmente la remoción de Rb, Cr, Ba, Sr, V, CaO y alcalinos, con adición de MgO. Las lavas komatiíticas serpentizadas mantienen fuertemente su composición original, salvo una fuerte adición de Rb y variable comportamiento de alcalinos y alcalino térreos. Una diferencia entre ambos flujos komatiíticos es la adición de Y y Rb por uno de ellos, justamente el que más adiciona sílice, Cr y Na_2O con K_2O .

En el caso particular de la colada de lava andesítica, calcoalcalina rica en potasio, en facies ceolita de baja presión y temperatura, estudiada por Aguirre (1988), los resultados indican adición de Na_2O y remoción de CaO, a diferencia de los casos de la lava basalto-andesítica de Smith (1982) en facies Prehnita-Pumpellyita y la lava komatiítica y otra basáltica de Malviya et al. (2006) en facies Esquisto verde a Anfibolita, en los cuales el resultado se da a la inversa. Patrones similares

entre este tipo de metamorfismo y la serpentinización se pueden observar de acuerdo a estos resultados.

En la colada de lava estudiada por Aguirre (1988), la transferencia de masa de Sr y Rb resulta en remoción del par Rb-Sr y sólo un nivel de la zona del techo les adiciona: Rb en mayor proporción. Este nivel resulta ser la muestra con mayor razón Rb/Sr_{atm} (Aguirre, 1988), sin embargo, presenta una razón ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr muy similar a un nivel adyacente en el techo de la colada el cual el Sr y el Rb fueron removidos (Sr en mayor proporción). Esto indicaría una homologación isotópica derivada del proceso metamórfico en la zona permeable del techo de la colada (Figura 9.6).

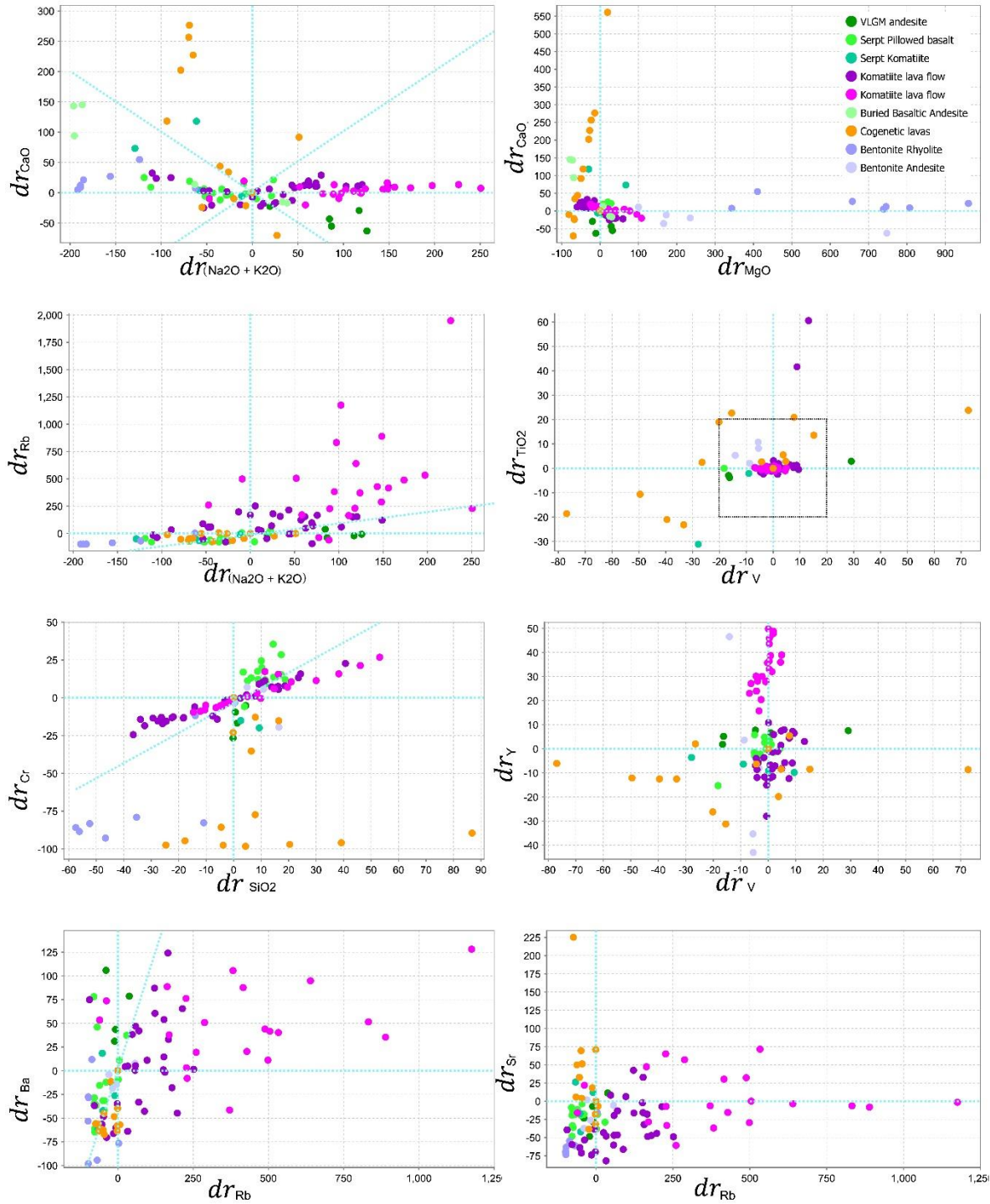


Figura 9.5. Diferencia porcentual ($\% dr_i$) de elementos alcalinos y alcalino térreos, Cr, SiO₂, Y y V para muestras de lavas con diferentes grados de metamorfismo. VLMG andesite: lava andesítica con metamorfismo de muy bajo grado en facies ceolita; Serpt. Pillowed Basalt/Komatiite: basaltos almohadillados y komatiitas serpentizadas; Komatiite lava Flow: lavas komatiíticas C y AB; Buried basaltic andesite: lava continental basalto andesítica en facies prehnita-pumpellyita; Cogenetic lavas: serie cogenética de lavas de la Fm. Chala; Bentonite Rhyolite/Andesite: lavas riolítica y andesítica bentonitizadas.

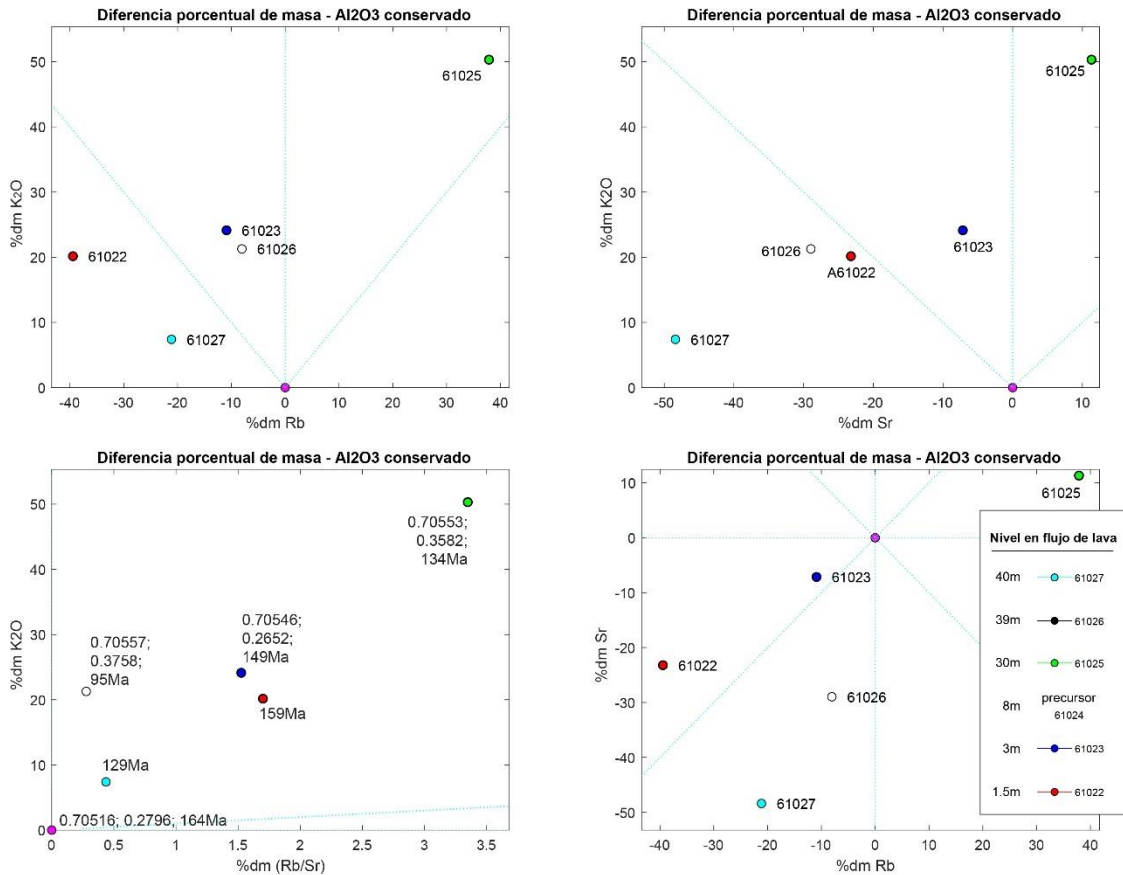


Figura 9.6. % dr_i en K₂O, Sr, Rb y Rb/Sr para las muestras de la colada de lava estudiada por Aguirre (1988). Los datos junto a símbolos indican: razón ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr calculada a 160Ma antes del presente, razón Rb/Sr_{atm} y edad K-Ar.

Por otra parte, una muestra a 3m de la base de la colada, presenta baja proporción de remoción de Sr y Rb, y es la roca más similar a las razones isotópicas de aquella considerada como precursora por Aguirre (1988) y en esta Tesis (Figura 9.6). Lo cual se interpreta como una prevalencia del sistema isotópico en zonas menos permeables o un acercamiento a sistema cerrado.

En relación a la geocronología realizada por Aguirre (1988), se tiene que el orden de % K identificado por el autor coincide con el orden de adición de K₂O calculado por Isomasas, pero no es coincidente con el % ⁴⁰Ar_{rad} ni con el orden de la edad obtenida con el método K-Ar. El acceso a la proporción de adición/remoción de Ar en los sistemas, posibilitaría una comprensión mayor de la relación entre el proceso de transferencia de masas y las edades isotópicas publicadas.

La Figura 9.7 muestra la relación entre la cantidad relativa de transferencia de material de Fe₂O₃ y el FeO, a partir de ella es posible comprender que las rocas de las zonas centrales y

masivas de los flujos de lava estudiados (Smith et al, 1982; Aguirre, 1986; este estudio) no se alejan drásticamente de la composición precursora. Sin embargo, las zonas más ubicadas hacia el techo, la base o zonas brechizadas o escoriáceas de flujos lávicos, se alejan progresivamente de la composición inicial.

Como la cantidad de masa de hierro divalente removida es menor a la masa adicionada de hierro trivalente en la misma muestra, se puede afirmar que, no basta con un proceso de oxidación de hierro divalente para dar cuenta de la cantidad de masa de hierro trivalente estimada. Existe una fuente externa de adición de hierro y proveniente también desde otras partes de la colada que movilizan y pierden hierro.

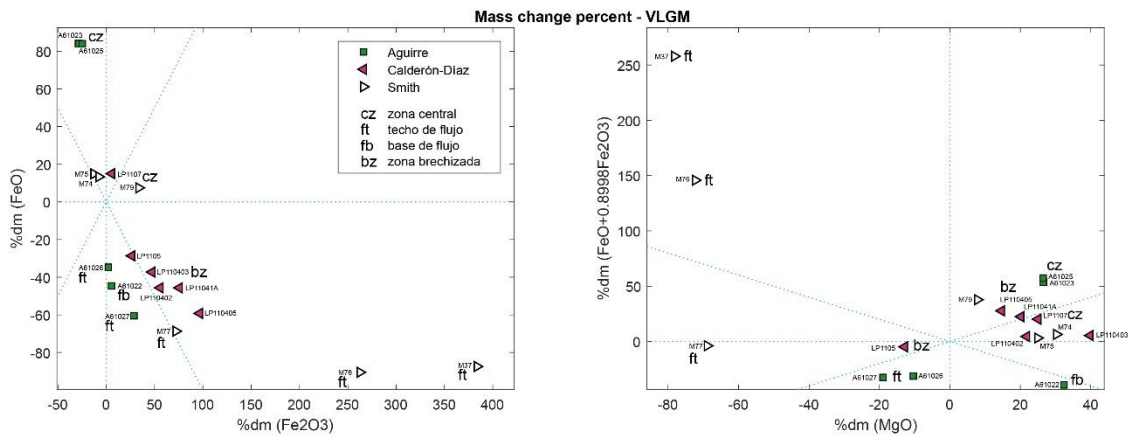


Figura 9.7. Cantidad relativa de transferencia de material s para tres casos de Metamorfismo de Muy Bajo Grado ocurrido sobre rocas volcánicas de composición básica.

Paralelamente, hacia las zonas del techo de coladas de lava se produce el efecto de remoción de MgO (Figura 9.7), mientras que las zonas centrales, de base y brechizadas muestran una adición del mismo. Considerando las conclusiones de Aguirre (1988), las asociaciones minerales metaestables tendrían una variabilidad geoquímica debido a la naturaleza del volumen de reacción y la transferencia de masa aquí calculada: los filosilicatos máficos de las zonas centrales de la colada de lava corresponden a picnocloritas y diabantitas, mientras que en las zonas más alteradas corresponden a diabantitas y penninitas, más ricas en hierro y magnesio (Aguirre, 1988). Esas zonas, justamente, corresponden a zonas con mayor adición de MgO o con conservación de hierro trivalente y pérdida de divalente, lo cual explicaría la química mineral metaestable.

Así mismo, se observa que a mayor adición de Fe_2O_3 , mayor remoción de elementos alcalinos y alcalinotérreos (Sr, Rb y Ba, Figura 9.8). Esto ocurre en zonas de mayor permeabilidad en las rocas o zonas más oxidadas, sin embargo, esto no es excluyente de la adición de Sr, Ba y Rb en algunos de esos metadominios. Así mismo, las zonas de techo, base y zonas más metamorfizadas de lavas almohadilladas y komatiíticas, indican una remoción de álcalis y una adición de CaO.

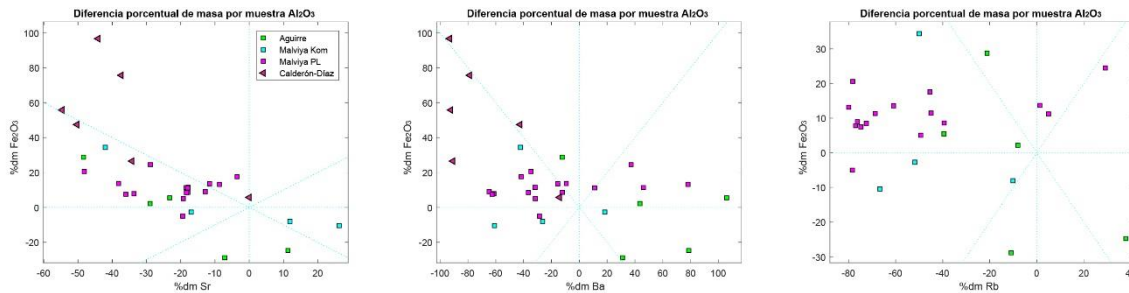


Figura 9.8. Cantidad relativa de transferencia de material en Sr, Ba y Rb con respecto a aquel de Fe_2O_3 para muestras sometidas a diferentes grados metamórficos.

En cuanto a la transferencia de masa de Tierras Raras, es posible determinar que, dentro de un rango acotado, se comportan como elementos más conservados, vale decir, con $\% dr_i \sim 0$ (Anexo C, Figuras III.6, III.8.1 y III.8.2). Aun cuando existe remoción de estos elementos, esta pérdida se encuentra dentro del rango de los -15%. La correlación de las Estimaciones de Masa Secundaria de estos elementos es, por lo general y como es esperado, muy alta (incluyendo al Y).

Esto permite indicar que, en ambientes de Metamorfismo de Muy Bajo Grado de Carga, del tipo espilitización, con características hidrotermales, caracterizado por temperaturas y presiones bajas, probablemente alrededor de 125-230°C e inferior a 3 kb, con interacción entre el agua de mar y la roca (Aguirre, 1988), las Tierras Raras se comportan como elementos conservados (Anexo B Figura B.6).

Ese resultado es extensivo a ambientes metamórficos de serpentización para las muestras de Malviya et al. (2006; Anexo C Figura C.8.1 y C.8.2) y, aunque con mayor variabilidad, para algunas Tierras Raras en el proceso de bentonización de la lava andesítica del perfil Zoulias estudiada por Christidis (1998; Anexo C, Figura C.1.1).

Los resultados de Isomasas para una lava andesítica del perfil Zoulias (Christidis, 1998), permiten indicar que la generación de bentonita, remueve Sr, Na_2O y CaO de manera

proporcional y, en menor medida, Rb en proporción a la remoción Na_2O . Mientras que la generación de bentonita a partir de una ignimbrita riolítica del perfil de Prassa, se remueve el par Sr-Rb proporcional a la remoción de Na_2O , junto con la adición de CaO. La diferencia en la composición de la muestra precursora es determinante para el flujo de material con igual resultado litológico de alteración (Figura 9.9).

Las Tierras Raras Livianas son, en general, adicionadas y las Tierras Raras Pesadas son removidas en el perfil Zoulias. Son removidos: Zn, Th, V, Nb, Yb, Y, Dy, Er, Lu y Eu. Son adicionados: Cr, La, Ce y Nd. Contrariamente, la zona más alterada incluye elementos como Y, La, Dy, Er, Ba y Ni. De esta manera, es probable que esos elementos sean transferidos de una zona a otra (Anexo C, Figura C.11).

En el perfil Prassa la mayor parte de los elementos trazas son removidos, salvo Th y Zn. Sólo en las zonas menos alteradas la mayor cantidad de elementos son adicionados. En este perfil, a diferencia del anterior, las Tierras Raras Livianas son removidas (Anexo C, Figura C.11).

En este sentido se puede decir que, para protolitos contrastantes, andesita versus riolita, la generación de bentonita precisa de transferencia de masa opuestas. Mientras que, en la primera, la proporción de la mayor parte de los elementos removidos se encuentra por debajo del – 40 % (andesita-Zoulias), la segunda necesita remover por sobre el – 40 % la mayor cantidad de los elementos (riolita-Prassa).

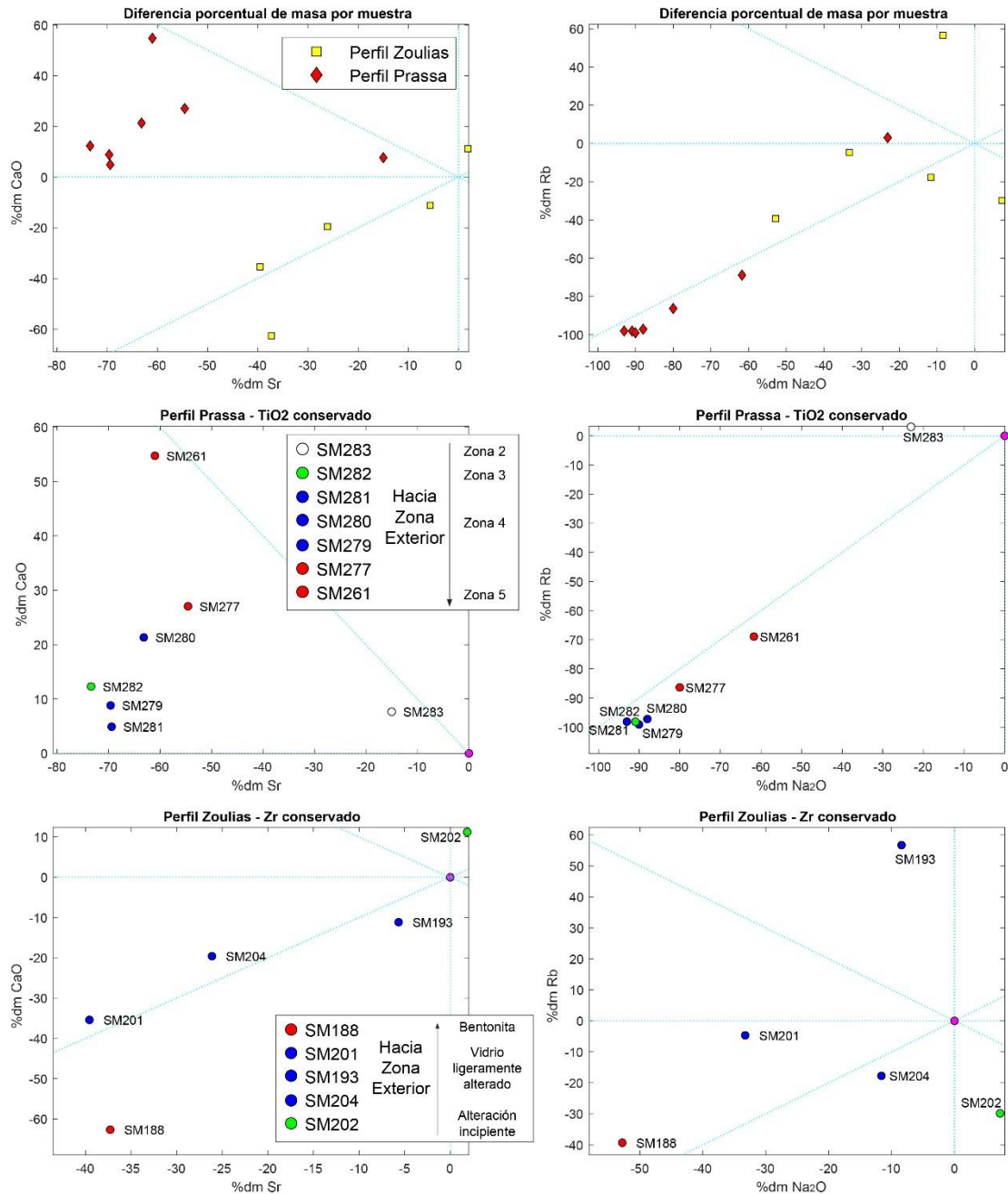


Figura 9.9. Resultados de Cantidad relativa de transferencia de material ($\% dr_i$) para las muestras de los perfiles de alteración a bentonita de las zonas de Prassa (medio) y Zoulias (abajo), desde análisis en Christidis (1998), para elementos alcalinos y alcalinotérreos, considerando la muestra precursora y los elementos conservados SM285-TiO₂ y SM203-Zr, en cada perfil.

9.3 Isomasas aplicado a Zonas de Alteración.

En procesos de alteración hidrotermal (Alderton et al., 1980; Bach et al., 2001) y en procesos de alteración sódica (Oliver et al., 2004) los elementos trazas no muestran una generalidad en cuanto a adición o remoción de masa. Resultados que se repiten tanto en este tipo de metamorfismo, como en aquellos de Enterramiento o de alteración de rocas ígneas

básicas (en ambientes continentales o marinos) es el hecho de la adición de elementos pesados como lo es: Zr, Th, Cr, Co, Ni y V además de Tierras Raras Pesadas Ba y Sr. Es común el hecho que materiales típicamente considerados como inmóviles muestren como resultado de Isomasas que existe una fuente externa a las rocas precursoras. Para detalles de cada uno de los ambientes referidos ver Anexo C, particularmente las Figuras C.9, C.10, C.11, C.12.

Al aplicar el método Isomasas sobre las muestras de alteración del granito estudiado por Alderton et al. (1980), es posible identificar que, en todos los tipos de alteración, la mayor parte de los elementos trazas son removidos del sistema, con remoción porcentual creciente de elementos en el siguiente orden de alteraciones: clorítica, sericítica, K-silicatada, turmalinización y argílica Figura 9.10.

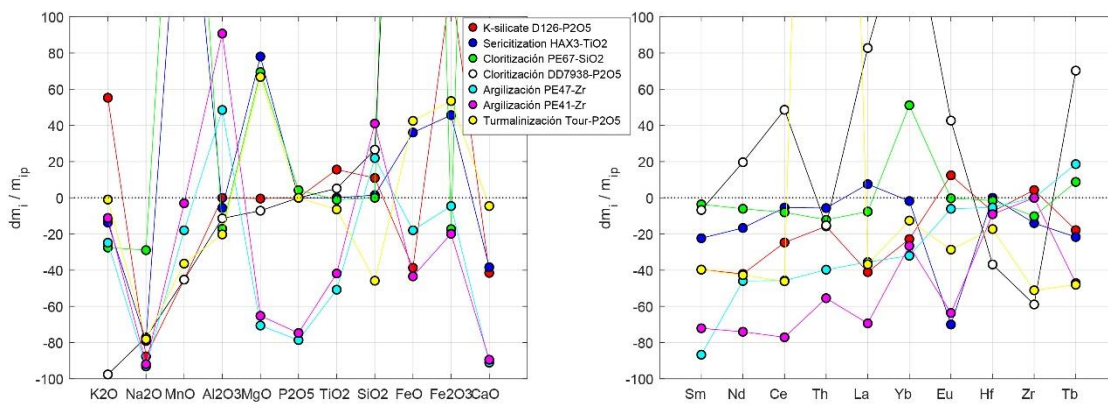


Figura 9.10. Resumen de resultados de Cantidad relativa de transferencia de material ($\% dr_i$) para las muestras de diferentes tipos de alteración de granito, desde análisis en Alderton et al. (1980), para elementos mayores y trazas, considerando la muestra precursora y los elementos conservados explicitados en la Tabla B.9 de los Anexos. Resultados extensivos en Figura C.9.1 - 9.2 de los Anexos.

Elementos como el Th durante turmalinización e Yb durante cloritización se estiman como altamente adicionados. En menor escala, también lo son La, Ce, Nd, Eu, Tb y Yb en cloritización. La remoción de Hf y Zr en alteración clorítica y en turmalinización es más marcada que en argilización. Es notoria la remoción de Eu en alteración sericítica y en un tipo de argilización. Esto implica que los procesos de alteración generan transferencia de masa diferenciada, de acuerdo con las propiedades de los fluidos y de la roca, incluyendo su mineralogía.

Los resultados obtenidos para los pares de muestras gabroicas frescas/alteradas estudiadas por Bach et al. (2001), permiten identificar varios elementos trazas como conservados durante procesos de alteración de bajo grado: Lu, Tb, Y y Hf. Además, para el resto de las

muestras, la transferencia de masas afecta en muy baja proporción a esos elementos y al Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu.

Los elementos Cs y Ba se ven principalmente removidos y, al igual que el Rb y el Sr, sería adicionado fuertemente en las muestras a 500m de profundidad en la corteza oceánica. El resto de los elementos trazas muestra comportamientos variables, que no parecen responder a la profundidad (Figura 9.11).

Para Bach et al. (2001), las muestras entre 500-600m de profundidad en la corteza, representan un ambiente oxidante con hasta un 8% de alteración, cuyas fases minerales serían: óxidos de hierro, calcita, nontronita y esmectitas. Mientras que, las rocas entre 600-1050m habrían registrado un ambiente no-oxidante y de hasta un 1 % de alteración en la forma de interestratificados de clorita-esmectita, esmectitas, calcita y pirita.

Según el autor, los cambios químicos asociados serían insignificantes sobre los 835m, sin embargo y contrariamente, los cambios químicos ocurren a lo largo de todo el sondaje. Como se muestra en la Figura 9.12, existe una disminución de CO₂ con la profundidad en la corteza, cuestión que no se evidencia en la incorporación de masa en la forma de H₂O.

En la misma figura, es posible identificar que el S es principalmente adicionado a las rocas gabroicas, lo cual no coincide con el análisis de Bach et al. (2001), quienes indican que, en rocas alteradas, el efecto es de pérdida de azufre. El MgO se perdería de acuerdo a los autores, sin embargo, se ve que esto ocurre solamente en la corteza superior y en muy baja proporción hacia zonas más profundas, incluso se ve adicionado en varios niveles.

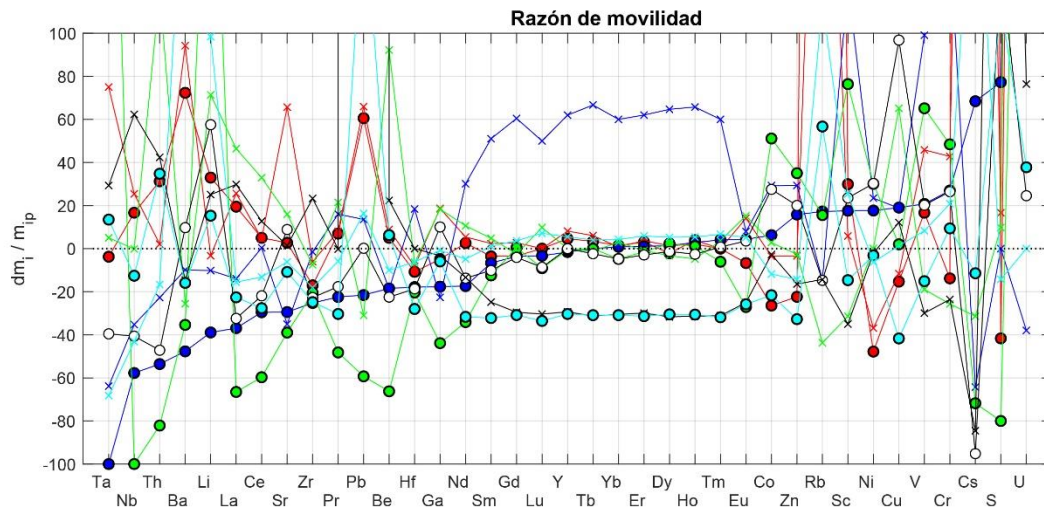
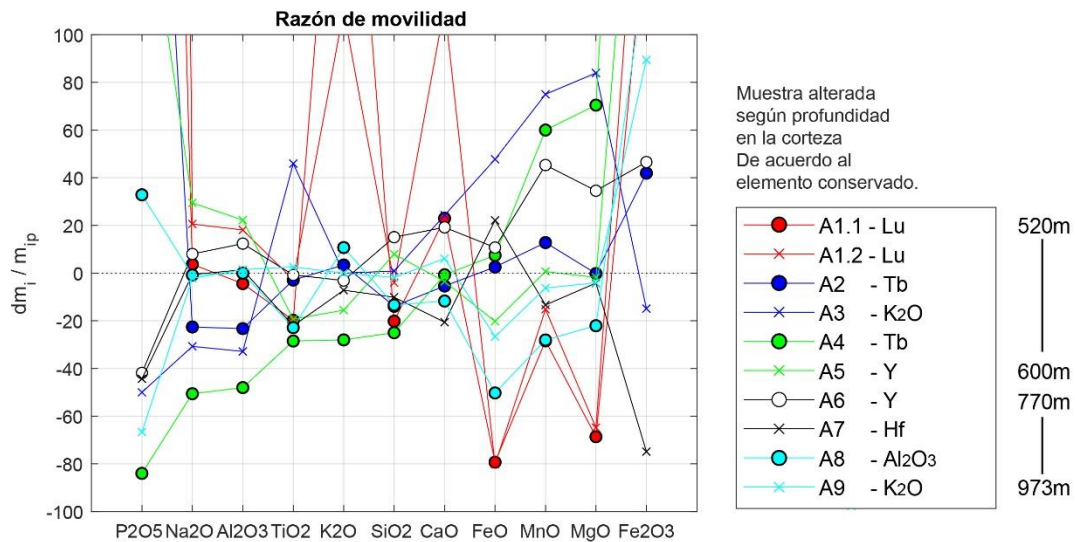


Figura 9.11. Resumen de resultados de Cantidad relativa de transferencia de material ($\% dr_i$) para las muestras de alteración de corteza oceánica según profundidad, desde análisis en Bach et al. (2001), para elementos mayores y trazas, considerando la muestra precursora y los elementos conservados explicitados en la Tabla B.10 de los Anexos. Resultados extensivos en Figura C.10.1 - 10.6.

En las muestras albitizadas estudiadas por Oliver et al. (2004), es posible identificar que el proceso de albitización sobre pelitas, rocas calco-silicatadas, dioritas, cuarzo-monzonitas y anfibolitas, genera remoción de Rb, Sr e Y, variable comportamiento en Zr y otros metales. La remoción de Cr y V es común, salvo en la albitización de diorita (Anexo C, Figura C.12).

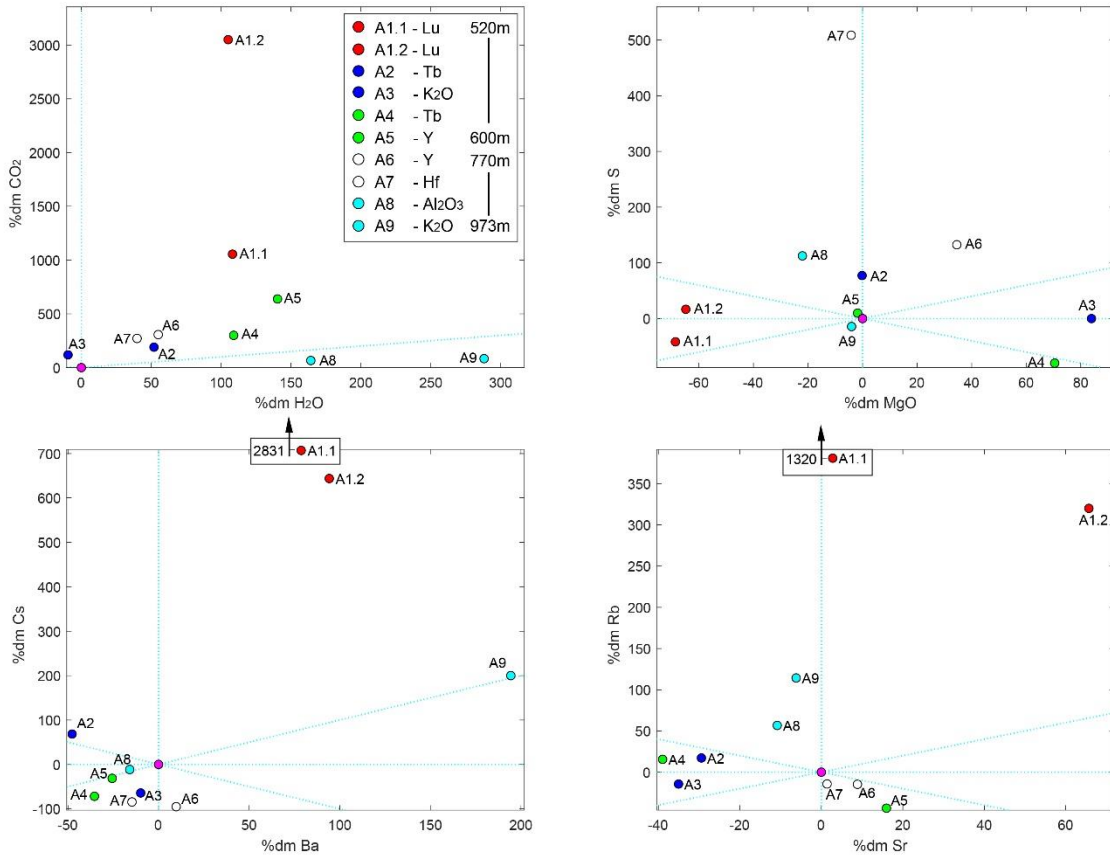


Figura 9.12. Cantidad relativa de transferencia de material ($\% dr_i$) de elementos alcalinos y alcalinotérreos para las muestras de alteración de corteza oceánica según profundidad, desde análisis en Bach et al. (2001), considerando la muestra precursora y los elementos conservados explicitados en la Tabla B.10 de los Anexos. El recuadro resume el elemento considerado como conservado y la profundidad en la corteza. Para la muestra A1.1 los valores de $\%dm_{Cs}$ y $\%dr_{Rb}$ se muestran en recuadros insertados.

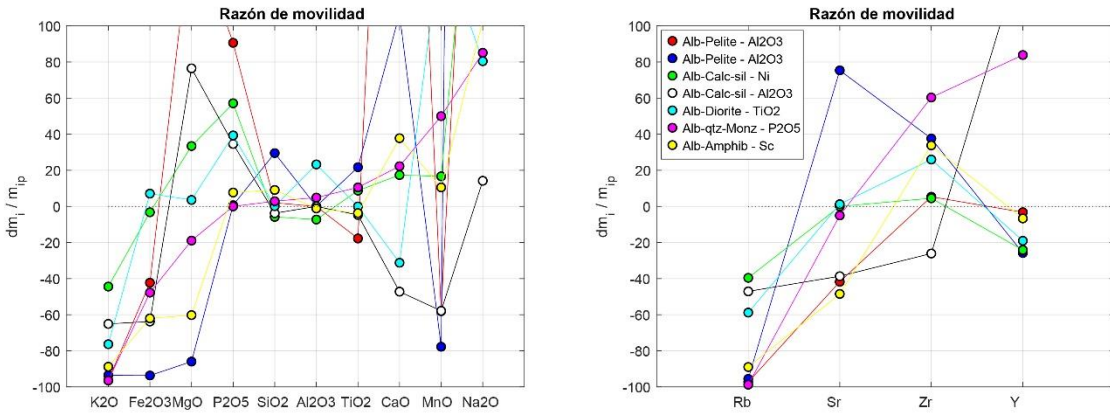


Figura 9.13. Resumen de resultados de Cantidad relativa de transferencia de material ($\% dr_i$) para las muestras de albitización de diferentes protolitos, desde análisis en Oliver et al. (2004), para elementos mayores y trazas, considerando la muestra precursora y los elementos conservados explicitados en la Tabla B.12 de los Anexos. Resultados extensivos en Figura C.12.1.

9.4 Isomasas aplicado a vetillas y fallas.

El caso particular descrito por Mori et al. (2003), Perfil A y Perfil B, evidencia la conservación en masa de Sc, V y Cr en procesos de vetilleo carbonatado en esquistos azules subfacies epidota (Figura 9.14), lo cual es coincidente con los resultados de movilidad estudiados por Mori et al. (2003) para ambos perfiles. Lo mismo ocurre, en general, con el resto de los elementos.

La proporción en masa de $MgO+Fe_2O_3$ transferida es correlacionable con aquella de V+Ni, estos elementos se ven preferentemente removidos a medida que la distancia a la vetilla disminuye. Hacia la vetilla las muestras registran una adición de Sr y Ba, aunque el Perfil B registra una adición de Ba principalmente, pues el Sr se encuentra en el rango $\pm 15\%$ (Figura 9.15).

El Perfil A y B se diferencian fuertemente en la remoción de Cu, Zn e Y en el primero y adición en el segundo, a distancias a la vetilla similares. Esto se interpreta como una respuesta diferencial a los procesos de transferencia de masa con un precursor común. En este sentido, definir un esquistos básico en la subfacies epidota-esquistos azul como homogéneo químicamente es un planteamiento que precisa de mayor discusión, dado que se esperan propiedades físicas similares, sin embargo, los resultados acá presentados difieren con distancias similares a la vetilla carbonatada.

Una posible solución al problema sería que el paso de la vetilla no representa un paso de un flujo homogéneo ni constante en cuanto a su composición, por lo tanto, los intercambios catiónicos con la roca de caja serían diferentes en diferentes perfiles del mismo protolito.

En cuanto a las rocas de falla en el sistema de fallas East Fork y White Rock estudiadas por Goddard y Evans (1993), resulta que, para el primer sistema de fallas (Anexo B, Figura B.5.1) Rb, Sr y Ba no muestran transferencias de masa significativas (dentro del rango $\pm 20\%$), con excepción de la zona de daño (entre - 35 a - 40 %). En las zonas de gouge y cataclasitas los cambios de masa son variables y de gran envergadura.

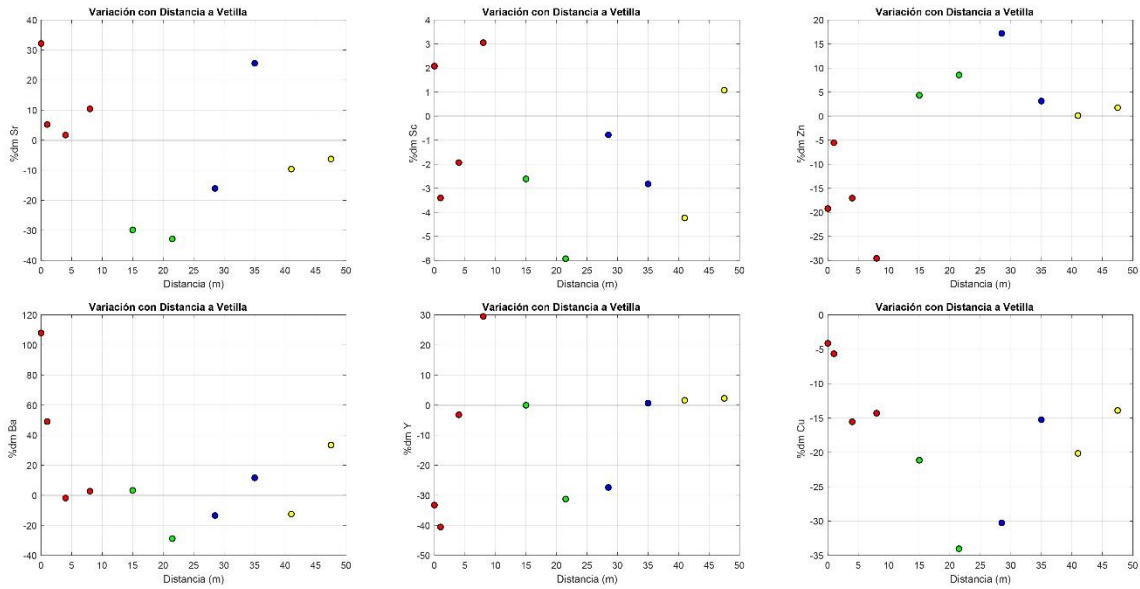


Figura 9.14. Resultados de Cantidad relativa de transferencia de material ($\% dr_i$) respecto a distancia a la vetilla retrógrada carbonatada (dolomita-calcita), para las muestras de vecindad de una vetilla en rocas de la subfacies epidota-esquistos azul, desde análisis en Mori et al. (2003), para elementos mayores y trazas, considerando la muestra precursora y los elementos conservados explicitados en la Tabla B.13 de los Anexos. Resultados extensivos en Figura C.13.1-13.2.

En cuanto a las rocas obtenidas en el sistema de fallas White Rock, las protocataclasitas muestran un rango acotado para la transferencia de masa de Zr (removido o cercano a conservado), mientras que los elementos Rb, Ba y Sr resultan altamente adicionados o moderadamente removidos (Anexo B, Figura B.5.2).

Los sistemas de fallas y vetillas resultan más complejos de estudiar en cuanto a la determinación de la roca precursora, es por esta razón que, en este sentido, se hace necesario incluir más datos y mejor método de muestreo para el desarrollo de la metodología de Isomasas en estos ambientes.

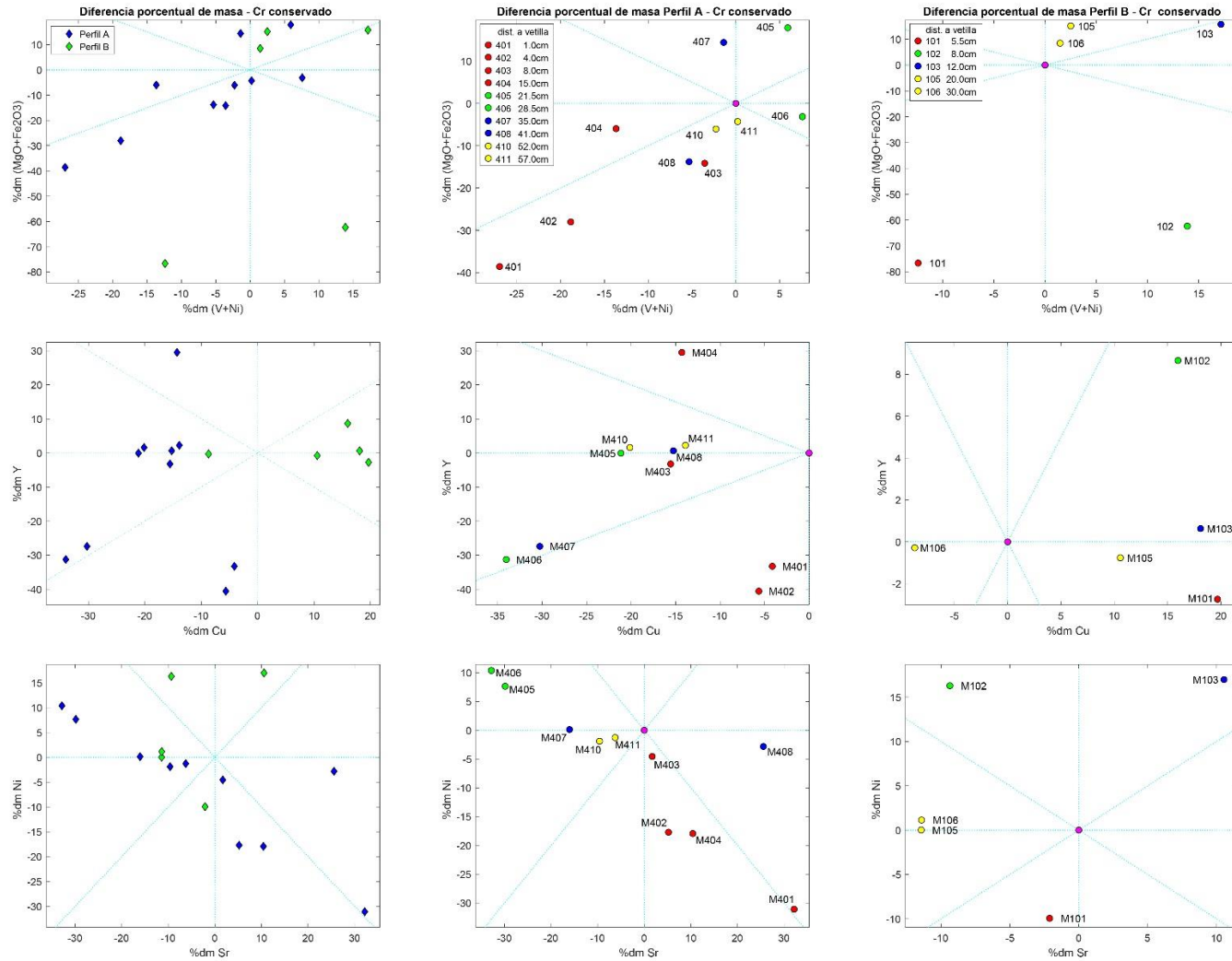


Figura 9.15. Diferencia porcentual ($\% dr_i$) para el Perfil A (diamantes azules) y el Perfil B (diamantes verdes) de las rocas metamórficas afectadas por vetillas carbonatadas investigadas por Mori et al. (2003), para la relación $(\text{MgO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ versus $(\text{V}+\text{Ni})$, Y versus Cu y Ni versus Sr. Se detallan esos resultados según la distancia a la vetilla para cada perfil (recuadros).

9.5 Isomasas aplicado a ambientes Magmáticos.

En ambientes magmáticos, se dispone de dos casos de rocas volcánicas (Shore, 1996, y Romeuf, 1994) y uno de rocas magmáticas (Cornejo y Mahood, 1997).

En el primer caso (Shore, 1996) se tiene que existe una excelente correlación entre las estimaciones de adición/remoción de masa de Ni y Cr (Figura 9.16). Es posible indicar que el proceso de cristalización y posterior serpentización dejó tras de sí un registro de adición de Cr y Ni hacia las zonas bajas del Flujo C, el cual no es identificable en cuanto a altura en el Flujo AB. Shore (1996) adjudica la concentración de Cr a un reemplazo del par Cr-Al por Mg-Si o dejando una vacancia al reemplazar Cr por Mg en forsterita. En ese sentido, al graficar la cantidad relativa de transferencia de material de Cr+Ni comparado a la suma MgO+SiO₂, el resultado es directo en proporciones de transferencia de masas.

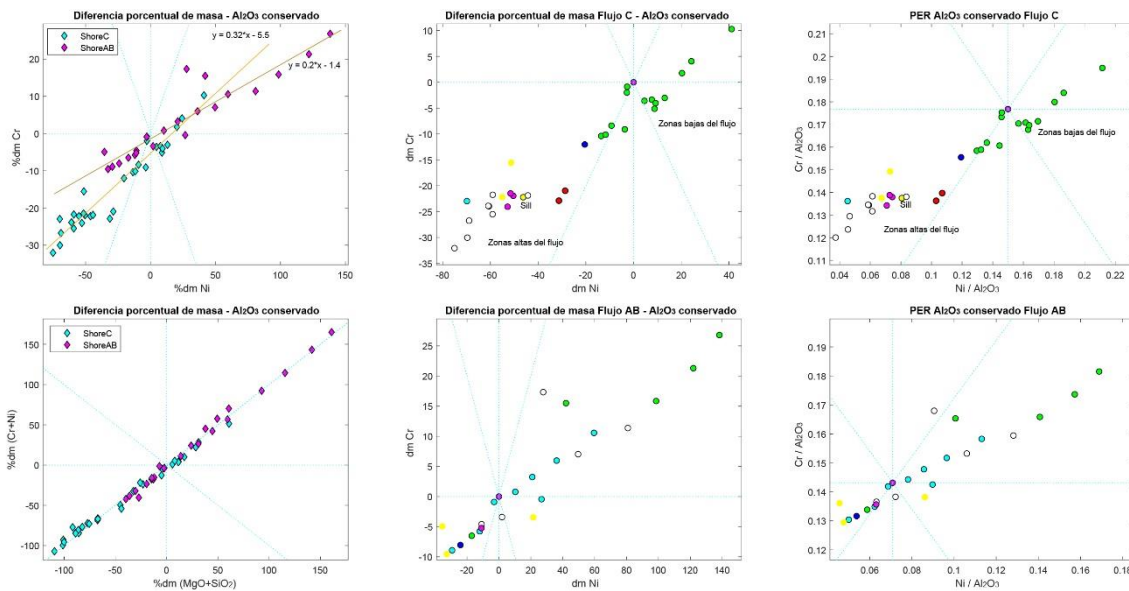


Figura 9.16. Cantidad relativa de transferencia de material en Cr y Ni para los Flujos de lava komatiítica serpentizadas descritos por Shore (1996). A la derecha se observan los resultados para ambos flujos de lava AB y C según la relación Cr versus Ni, arriba, y (Cr + Ni) versus (MgO + SiO₂), abajo; en el centro el detalle de la relación Cr versus Ni para el flujo C, arriba, y flujo AB, abajo; a la izquierda, las mismas relaciones desde la perspectiva PER.

En este caso, se puede decir que el modelo Isomasas permite establecer una relación inmediata entre el porcentaje de masa transferido de elementos que, en sustitución acoplada, intercambian masa durante un proceso de cristalización, interacción con agua de mar y serpentización.

Esto último ocurre independiente de las evidencias de diferencias texturales descritas en Shore (1996). Además, al realizar el mismo gráfico considerando Razones de Elementos de Pearce, los resultados no son directos como se puede observar en la Figura 9.16.

Cuando se analizan las muestras descritas por Cornejo y Mahood (1990) se da una situación muy particular, innegablemente el Al_2O_3 es un elemento conservado y, sorpresivamente, el Ba también lo es. En efecto, los resultados de Isomasas son prácticamente idénticos (Anexo C, Figura C.14). Cuestión que ocurre únicamente entre pares de elementos que cumplen los criterios establecidos en esta Tesis. Es decir, otra práctica muy habitual de considerar elementos alcalinotérreos como altamente móviles, particularmente el Ba, puede ser sólo un hecho común, pero no un hecho a priori.

Desde el punto de vista del Al_2O_3 - o del Ba-conservado, el proceso de diferenciación magmática se corresponde con la adición de Y, Zr, Nb y Rb si se consideran las rocas Cuarzo Monzodioríticas como precursoras magmáticas del resto de los niveles descritos por Cornejo y Mahood (1990). Al mismo tiempo, ocurriría una remoción de Ni, Cr, V y Sr en las zonas superiores, medias y bajas del plutón. Las zonas del borde de niveles medios incluirían Ni y V (en conjunto con MgO).

En el mismo estudio se describen rocas leucograníticas, a las cuales se les identifica como las rocas que más masa les fue removida en caso de que su precursora fuesen las mismas consideradas anteriormente. Por lo tanto, en sistemas graníticos la transferencia de masa de elementos como el Ni, V y Cr (Sr e Y, inclusive) es alta en para generar materiales más evolucionados y es más acotada para generar materiales más cercanos a la composición inicial intermedia.

Considerando las rocas volcánicas descritas por Romeuf (1994), se puede establecer que las rocas precursoras utilizadas por la autora no son necesariamente las más adecuadas para aquello y tampoco son útiles al momento de ubicar elementos conservados. De ahí que, al analizar el proceso de transferencia de masa en rocas volcánicas de formaciones con procesos de metamorfismo de muy bajo grado (incipiente, en este caso, o avanzado, como en los casos anteriores de metamorfismo), es necesario identificar no sólo aquel elemento que sea útil como

referencia válida, si no también, la roca precursora que lo permita. Al analizar rocas cogenéticas como estas, la dificultad es mayor cuando se trata de identificar los elementos conservados.

Romeuf (1994) presenta gráficos de normalización (Anexo D: geoquímica) los cuales no necesariamente representan los efectos generados por los procesos propiamente magmáticos sobreimpuestos por los metamórficos (Ver Anexo C, Figura C.17 para comparación entre precursora seleccionada a partir de análisis de concentración respecto de la seleccionada vía modelación de Isomasas).

En lo que respecta de los elementos trazas, en general, la Formación Santiago, Formación Misahualli del Norte y del Sur, la Formación Colán y la Formación Chala, pierden Ba, Rb, La, Ce, Sm, Nd, Eu, Dy, Lu e Yb, los cuales son considerados como elementos enriquecidos por parte de la autora. Por su parte, elementos como el Nb, Cu, Sr, Zn, Zr, V y Cr se ven adicionados en su masa con respecto a la muestra precursora, lo cual es identificado como comportamiento variable, pero inmóvil, por parte de la autora.

10 La Cuantificación: discusiones sobre este modelo.

La necesidad de cuantificar los procesos que ocurren en la naturaleza es propia de la forma de pensar del siglo XX y XXI, de esta manera, es posible encontrar en la literatura cientos, si no miles, de análisis químicos realizados por numerosos grupos de investigación para revisar, observar y reflexionar. Sin duda, todos los grupos de investigación han entregado discusiones datos e interpretaciones que permiten avanzar en el conocimiento.

Para Rovelli (2018) en su libro *El orden del Tiempo*, no es necesario obtener nuevos datos experimentales para poder generar una nueva línea de pensamiento. En su libro, nos da el ejemplo de Copérnico, quien no disponía más datos que aquellos de las observaciones que Ptolomeo, pero que pudo interpretar mejor lo que ellos representaban.

El autor de esta Tesis no pretende compararse con las implicancias alcanzadas por el modelo heliocéntrico de Copérnico, sólo se pretende establecer una plataforma diferente de observación de los procesos de transferencia de masa. No se trata solamente de relativizar los cambios de masa a cualquier elemento de manera tal de dar su “visión” de movimiento del resto de los elementos.

La concentración en peso o ppm de los elementos ha sido una herramienta muy útil para permitirnos describir y entender los procesos geológicos de interés. No es un objetivo de esta Tesis el indicar las falencias del resto de los grupos de investigación al utilizar dicha medida sin la comprensión de las razones de su variabilidad. Lo que se pretende es considerar que la selección de muestras de volúmenes de roca que interpretamos como representativos de ciertos procesos al compararlas con otras puede generar confusión u oscuridad (desenfoco) a la hora de interpretar. Sobre todo, cuando el elemento o los elementos considerados como referencia no son una referencia válida.

Con la metodología de Isomasas se ha demostrado que existe una posibilidad de atravesar los caminos determinados por los análisis de roca total, para un grupo de muestras cogenéticas (sentido laxo), cuando se identifica con certeza el elemento de referencia: el elemento conservado en su masa.

En principio, los cambios de concentración pueden indicar comportamientos directamente inversos a los reales. Aunque se debe dar claridad en este mensaje: no siempre es así. Es decir, elementos altamente empobrecidos, puede que -efectivamente- hayan sido removidos en su masa durante el proceso. El caso contrario también es válido. Por otra parte, la concentración de elementos es la medida de la cual disponemos.

Por lo tanto, utilizando ecuaciones muy simples de transferencia de masa se ha obtenido una fórmula capaz de indicar el cambio de masa del sistema en su conjunto para que la muestra de roca precursora se transforme en la muestra de roca secundaria. Si el elemento que estimó ese cambio es efectivamente conservado, entonces se identificará a sí mismo con un cambio de masas igual a cero.

Esa es la base del pensamiento aquí expresado y permite establecer varios quiebres en prácticas comunes de la geoquímica.

Primero, que no es directo el ejercicio de selección de una muestra precursora a partir de que sea la menos evolucionada o con menor cantidad de agua o LOI, etc. La muestra precursora deberá ser seleccionada, en terreno, como se ha realizado hasta ahora, pero se recomienda realizar ese muestreo sobre dos volúmenes diferentes (por lo menos) para poder identificar variaciones intrínsecas a los procesos primarios para luego cuantificar los efectos en la composición de los procesos metamórficos.

Segundo, la selección del elemento conservado (si es que lo hay) es posible teniendo dos o más muestras secundarias. Con una muestra secundaria no es posible evaluar el cuarto criterio de selección de pares conservados. Así mismo, el número de elementos químicos debería ser el mayor posible: la limitante económica es determinante en este sentido. Conjuntamente, las metodologías utilizadas deberían ser aquellas con el menor error analítico asociado.

Tercero, los elementos típicamente considerados inmóviles no son conservados necesariamente. Los elementos típicamente considerados como móviles, pueden resultar conservados. Para depositar elementos de una parte de la corteza en otra, es necesario removerlos de una fuente. Por eso, todos los elementos son susceptibles de cambiar su masa en el origen.

Cuarto, finalmente la cuantificación de transferencia de masa es una práctica muy común y a la cual la comunidad científica se ha acercado desde diferentes enfoques, para un maravilloso resumen de estos, referirse al estudio de Peiwen Ke (1989, Tabla 1). En este sentido, y como ha sido expresado anteriormente, esta tesis no pretende más que aportar a todos esos estudios indicando un camino de identificación de la referencia válida para la cuantificación.

Se sugiere que los sistemas se consideren cerrados, o representativos de metamorfismo en su sentido estricto, cuando los porcentajes de transferencia de material de todos sus elementos químicos resultan, a través del análisis Isomasas, dentro del rango de $\pm 15\%$ dr_i para la mayor parte de los elementos mayores y, en segundo lugar, trazas. Por otra parte, se sugiere considerar los elementos como moderadamente removidos/adicionados cuando su transferencia de material se encuentra dentro del rango de $\pm 15-60\%$ y como altamente removidos o adicionados cuando la transferencia de masa supera el valor de 60% . Naturalmente, ningún elemento puede ser removido en más de 100% (Figura 10.1).

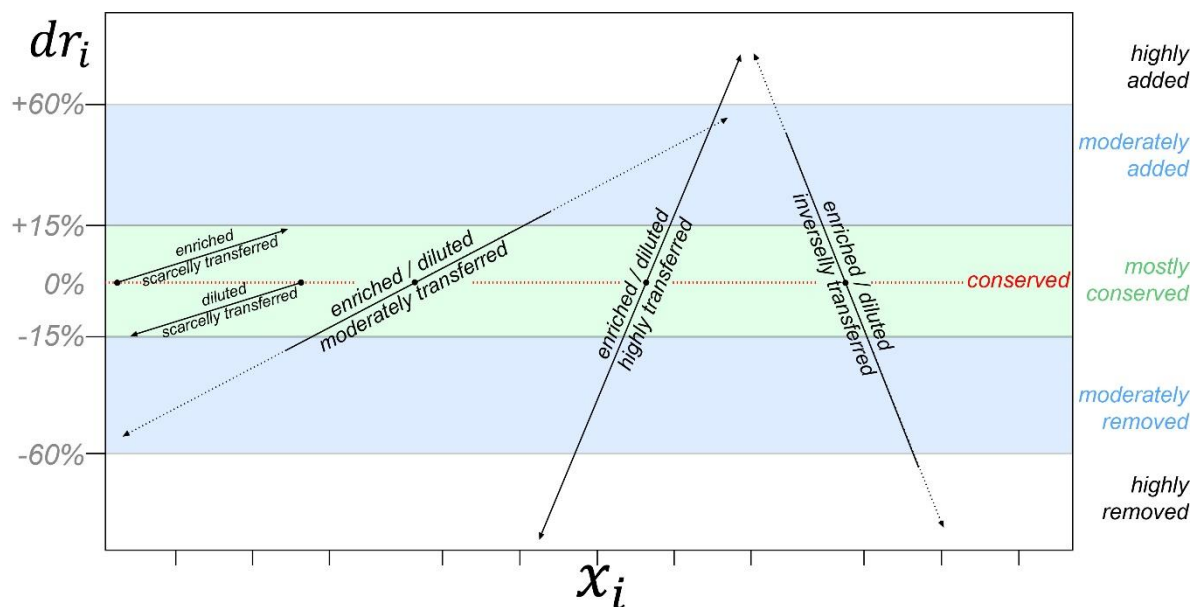


Figura 10.1. Propuesta de clasificación de transferencia de masa y movilidad de elementos.

Se propone la utilización de la metodología presentada en esta Tesis como parte inicial del análisis de movilidad o de relación estequiométrica entre pares o series de rocas cogenéticas, para que los resultados obtenidos representen los procesos de transferencia de material reales.

11 Conclusiones

1. El método Isomasas se basa en un modelo matemático simple y reconocido en la literatura como un modelo de cuantificación de la transferencia de masa en ambientes geológicos abiertos. Mejor aún, lo cuestiona y establece un método para mejorarlo en cuanto es posible identificar algún elemento (o un grupo de elementos) que sea conservado durante el fenómeno geológico determinado.
2. El hecho de establecer cuál sería el tamaño del sistema en términos de su masa total para que se cumpla que un elemento en cuestión conserve su masa, es una novedad que no se incluyó en las discusiones hasta ahora.
3. La cuantificación de la transferencia de masa porcentual como representativa de la movilidad de cada uno de los otros elementos no-conservados, es una manera sencilla de visualizar los cambios de masa que precisa el sistema para transformar la roca precursora en el producto de alteración.
4. Los casos de la literatura han asumido (basados en distintas metodologías) la conservación o inmovilidad de los elementos, lo cual no siempre es acertado. Tampoco lo es la selección de la mejor muestra precursora.
5. Existen elementos típicamente considerados como conservados en la literatura que son reconocidos como tales por la metodología Isomasas (ej.: TiO_2). Sin embargo, hay otros que no son conocidos como tales y, cuando la cuantificación de transferencia de masa se realiza sobre la base de una referencia elemental válida (elemento conservado), entonces es necesario avanzar en estudios que permitan comprender este fenómeno. Un ejemplo de esto es el elemento Ba en un caso de diferenciación magmática.
6. Al comparar los resultados obtenidos con Isomasas con aquellos obtenidos con metodología PER, resulta que la última muestra ejes muy disímiles al cambiar el elemento de referencia, mientras que, al cambiar entre elementos efectivamente conservados, los resultados son idénticos incluso al intercambiar la referencia de un elemento mayor a uno trazas. Es más, los ejes de las razones de elementos de Pearce son muchas veces del orden de miles de moles o más, mientras que en el caso de Isomasas es un porcentaje que, si bien algunas veces supera el 100 o 200 % de cambio de masa, los porcentajes hacen que la representación sea rápidamente comprensible.

7. En este mismo sentido, la comparación de transferencia de masa entre elementos u operaciones matemáticas entre elementos es más comprensible que la metodología de PER. Esto es, la cantidad relativa de transferencia de material de un elemento es comparable a la cantidad relativa de transferencia de material de otro. Las metodologías deberían ser consideradas como complementarias.
8. La diversidad de ambientes geológicos aquí presentados permite establecer que la metodología Isomasas es una metodología que merece ser validada por la comunidad científica por la robustez que presenta en la identificación del comportamiento de los elementos químicos y por permitir descubrir comportamientos inesperados de algunos elementos en procesos geoquímicos disímiles.
9. La aplicación de la metodología Isomasas sobre rocas provenientes de diversos ambientes de diferenciación y alteración, permite observar patrones y cambios de masa antes ocultos en los diagramas de variación por concentración o molares.
10. La aplicación de la metodología Isomasas a sistemas magmático-hidrotermales permite establecer series y subseries de rocas cogenéticas, particularmente, a partir de los cambios de masa porcentuales de los elementos Sc y V. Así se revelan procesos de diferenciación e interpretaciones que relacionan el fraccionamiento de elementos y exsolución de minerales desde una a otra zona dentro de las cámaras magmáticas y hacia la vecindad de estas generando zonas de alteración.
11. Los resultados de isomasas develan relaciones de transferencia de masa diferentes de aquellas consideradas desde el punto de vista de variación molar de elementos. De esta manera, se presentan variaciones porcentuales de masa relacionadas a la cristalización de fases minerales que guardan o no relación con aquellas identificadas con anterioridad. Es el caso de la precipitación de pirita o anhidrita en rocas de alteración hidrotermal y el control de intercambio de masa idéntico entre los pares Mg-Si y V-Cr en komatiitas.
12. La metodología aquí presentada es capaz de identificar los cambios de masa necesarios para generar el mismo producto litológico a partir de precursores diferentes, y también pone en cuestión la consideración de las rocas metamórficas precursoras como homogéneas, dado que procesos similares operando sobre dichos protolitos, generan transferencias de masa diferentes con igual resultado litológico.

Símbolos utilizados en esta Tesis

x_{ji} concentración del elemento i en el sistema roca j

dx_i cambio de concentración del elemento i

X_{ji} cantidad de masa del elemento i en el sistema roca j

dX_i transferencia de material, cambio de masa, del elemento i

S_j tamaño o masa del sistema j

$j = p$ sistema parental, precursor, primario

$j = d$ sistema hijo, secundario, alterado

dS cambio de tamaño o de masa total del sistema

k elemento conservado

dm_k cambio de masa del elemento conservado

$\frac{S_{dn.i}}{S_{dn.k}}$ razón de tamaños de sistemas hijo para la muestra n según elemento i relativo a estimación de tamaño de sistema según elemento k .

Bibliografía

- Ague, J.J. 1991. Evidence for major mass transfer and volume strain during regional metamorphism of pelites. *Geology*. Vol. 19, p. 855-858.
- Ague, J.J. y van Haren, L.M., 1996. Assessing Metasomatic Mass and Volume Changes Using the Bootstrap, with Application to Deep Crustal Hydrothermal Alteration of Marble. *Economic Geology*. Vol. 91, pp. 1169-1182.
- Aguirre, L. 1988. Chemical mobility during low grade metamorphism of a Jurassic lava flow: Río Grande Formation, Peru. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 1, Num. 4, p. 343-361.
- Alderton, D.H.M., Pearce, J.A. y Potts, P.J., 1980. Rare earth element mobility during granite alteration: evidence from southwest England. *Earth and Planetary Science Letters*. Vol. 49, p. 149-165.
- Babechuk, M.G., Widdowson, M., Murphy, M. y Kamber, B.S., 2015. A combined Y/Ho, high field strength element (HFSE) and Nd isotope perspective on basalt weathering, Deccan Traps, India. *Chemical Geology*. Vol. 396, pp. 25–41
- Bach, W., Alt, J.C., Niu, Y., Humphris, S.E., Erzinger, J. y Dick, H.J.B., 2001. The geochemical consequences of late-stage low-grade alteration of lower ocean crust at the SW Indian Ridge: Results from ODP Hole 735B (Leg 176). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 65, no. 19, p. 3267–3287.
- Bartley, J.M., 1986. Evaluation of REE mobility in low-grade metabasalts using mass-balance calculations. *Norsk Geologisk Tidsskrift*. Vol. 66, p. 145-152.
- Baumgartner L.P. and Olsen S.N., 1995. A Least-Squares Approach to Mass Transport Calculation Using the Isocon Method. *Economic Geology*, Vol. 90, p. 1261-1270.
- Bea, F., Montero, P. y Ortega M., 2006. A LA-ICP-MS evaluation of Zr reservoirs in common crustal rocks: Implications for Zr and Hf geochemistry, and zircon forming processes. *Canadian Mineralogist*. Vol. 44, pp. 693–714, doi:10.2113/gscanmin.44.3.693.
- Bernal, J.P. y Railsback, L.B., 2008. Introducción a la Tabla Periódica de los Elementos y sus Iones para Ciencias de la Tierra. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 25, no. 2, p. 236-246.
- Best, M. 2003. *Igneous and Metamorphic Petrology*. Wiley-Blackwell; Edición: 2. ISBN-10: 1405105887
- Brinkley, S. R. Jr., 1946. Note on the conditions of equilibrium for systems of many constituents. *Journal of Chemical Physics*, Vol. 14, p. 563-564. Doi: 10.1063/1.1724195.

- Brinkley, S. R. Jr., 1947. Calculation of the equilibrium composition of systems of many constituents. *Journal of Chemical Physics*, Vol. 15, p. 107-110. <https://doi.org/10.1063/1.1746420>.
- Burton, J.D. y Culkin, F., 1978. Gallium. In: Wedepohl, K.H. (Ed.), *Handbook of Geochemistry II-3*. Springer-Verlag, Berlin, 32-D-7.
- Billi, A., Primavera, P., Soligo, M y Tuccimei, P., 2008. Minimal mass transfer across dolomitic granular fault cores. *Geochemistry Geophysics Geosystems*. Vol. 9, no. 1, pp. 1-18. doi:10.1029/2007GC001752
- Brimhall, G.H. y Dietrich, W.E., 1987. Constitutive mass balance relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemical systems: Results on weathering and pedogenesis. *Geochemica et Cosmochemica Acta*. Vol. 51, pp. 567-587.
- Chayes F (1949) On correlation in petrology. *Journal of Geology*. Vol. 57, no. 59, pp. 239–254.
- Chayes F (1971) Ratio Correlation. *University of Chicago Press*, Chicago, 99 p.
- Christidis, G.E., 1998. Comparative study of the mobility of major and trace elements during alteration of an andesite and a rhyolite to bentonite, in the islands of Milos and Kimolos, Aegean, Greece. *Clays and Clay Minerals*. Vol. 46, no. 4, p. 379-399.
- Coelho J., 2006. GEOISO—A Windows™ program to calculate and plot mass balances and volume changes occurring in a wide variety of geologic processes. *Computers & Geosciences*, Vol. 32, p. 1523–1528.
- Condie, K.C., Dengate, J. y Cullers, R.L., 1995. Behavior of rare earth elements in a paleoweathering profile on granodiorite in the Front Range, Colorado, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 59, no. 2, pp. 279-294.
- Cornejo, P.C. y Mahood, G.A., 1997. Seeing past the effects of re-equilibration to reconstruct magmatic gradients in plutons: La Gloria Pluton, central Chilean Andes. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Vol. 127, p. 159-175.
- Chakraborty, K.R., 1977. A New Method of Material Balance Evaluation in Metamorphic Differentiated Systems. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Vol. 65, p. 101-110.
- Dilles, J.H. y John, D.A., 2020. Porphyry and Epithermal Mineral Deposits. In: *Encyclopedia of Geology*, 2nd edition.
- Dipple, G.M., Wintsch, R.P. y Andrews, M.S., 1990. Identification of the scales of differential element mobility in a ductil fault zone. *Journal of Metamorphic Geology*. Vol. 8, p. 645-661.

- Dixon, J.L., Hartshorn, A.S., Heimsath, A.M., DiBiase, R.A. y Whipple, K.X., 2012. Chemical weathering response to tectonic forcing: A soils perspective from the San Gabriel Mountains, California. *Earth and Planetary Science Letters*. Vol. 323-324, pp. 40-49.
- Durand, C., Oliot, E., Marquer, D. y Sizun, J-P., 2015. Chemical mass transfer in shear zones and metacarbonate xenoliths: a comparison of four mass balance approaches. *European Journal of Mineralogy*. Vol. 27, no. 6, p. 731–754.
- Efron, B., 1979. Bootstrap methods: Another look at the jackknife. *Annals of Statistics*. Vol. 7, p. 1-26. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9_41
- Giggenbach, W.F., 1984. Mass transfer in hydrothermal alteration systems-A conceptual approach. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 48, p.2693-2711. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90317-X](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90317-X)
- Ghiorso, M.S., 1985. Chemical mass transfer in magmatic processes I. Thermodynamic relations and numerical algorithms. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 90, p- 107-120. <https://doi.org/10.1007/BF00378254>
- Grant J.A., 1986. The isocon diagram - A simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration. *Economic Geology*, Vol. 81, p.1976-1982. <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.81.8.1976>
- Grant, J.A., 2005. Isocon analysis: A brief review of the method and applications. *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. 30, p. 997-1004.
- Gresens R.L., 1967. Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical Geology*, Vol. 2, p. 47-55.
- Goddard, J.V. 1993. Internal deformation, evolution and fluid flow in basement involved thrust faults, Norwest Wyoming. M.Sc. thesis, Utah State University, Logan.
- Goddard, J.V. y Evans, J.P., 1995. Chemical changes and fluid-rock interaction in faults of crystalline thrust sheets, northwestern Wyoming, U.S.A. *Journal of Structural Geology*. Vol. 17, no. 4, p. 533-547.
- Guo, S., Ye, K., Chen, Y., y Liu, J.B., 2009, A normalization solution to mass transfer illustration of multiple progressively altered samples using the isocon diagram: *Economic Geology*, v. 104, no. 6, p. 881–886, doi: 10.2113/gsecongeo.104.6.881.
- Halley, S. 2020. Mapping Magmatic and Hydrothermal Processes from Routine Exploration Geochemical Analyses. *Economic Geology*. Vol. 115, no. 3, p. 489–503.
- Hilchie, L., Russell, J.K. y Stanley, C.R., 2018. Unification of Isocon and Pearce Element Ratio techniques in the quantification of material transfer. *Economic Geology*. Vol. 113, no. 7, p. 1603–1608.

- Jiang, K., Qi, H. y Hu, R., 2018. Element mobilization and redistribution under extreme tropical weathering of basalts from the Hainan Island, South China. *Asian Earth Sciences*. Vol. 158, p. 80-102.
- Karpov, I., Chudnenko, K. y Kulik, D., 1997. Modelling chemical mass transfer in geochemical processes: thermodynamic relations, conditions of equilibrium, and numerical algorithms. *American Journal of Sciences*, Vol. 297, p. 767-806. doi: 10.2475/ajs.297.8.767
- Ke, P. 1989. A new approach to mass balance modeling: applications to igneous petrology. Tesis de Magister en Ciencias. Facultad de Estudios Graduados, Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad de Ciencia y tecnología de China.
- Korzhinskii, D.S. 1959. Physic-chemical basis of the analysis of the paragenesis of minerals. *Consultants Bureau*, New York, 1959.
- Kurtz, A.C., Derry, L.A., Chadwick, O.A. y Alfano, M.J., 2000. Refractory element mobility in volcanic soils. *Geology*. Vol. 28, p. 683-686.
- Liu, W., Liu, C., Brantley, S.L., Xu, Z., Zhao, T., Liu, T., Yu, Ch., Xue, D., Zhao, Z., Cui, L., Zhang, Z., Fan, B. y Gu, X., 2016. Deep weathering along a granite ridgeline in a subtropical climate. *Chemical Geology*. Vol. 47, p. 17-34.
- Madeisky, H.E. y Stanley C., 1993. Litho-geochemical Exploration of Metasomatic Zones Associated with Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits Using Pearce Element Ratio. *International Geology Review*. Vol. 35, p. 1121-1148.
- Magloughlin, J.F., 1992. Microstructural and chemical changes associated with cataclasis and frictional melting at shallow crustal levels: the cataclasite-pseudotachylyte connection. *Tectonophysics*. Vol. 204, p.243-260.
- Malviya, V.P., Arima, M., Pati, J.K y Kaneko, Y., 2006. Petrology and Geochemistry of metamorphosed basaltic pillow lava and basaltic komatiite in the Mairanipur area: subduction related volcanism in the Archean Bundelkhand craton, Central India. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*. Vol 101, p. 199-217.
- Magaldi, T.T., Navarro, M.S., y Enzweiler, J., 2019, Assessment of dissolution of silicate rock reference materials with ammonium bifluoride and nitric acid in a microwave oven. *Geostandards and Geoanalytical Research*, Vol. 43, no. 1, p. 189–208.
- MacLean, W.H. y Barrett, T.J., 1993. Litho-geochemical Techniques Using Immobile Elements. *Journal of Geochemical Exploration*. Vol. 48, p. 109-133. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(93\)90002-4](https://doi.org/10.1016/0375-6742(93)90002-4)
- MacLean, W.H., 1990. Mass changes in altered rock series. *Mineral Deposita*. Vol. 25, p. 44-49.

- MacLean, W.H. y Kranidiotis, P., 1987. Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration: Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology*. Vol. 82, p. 951-962.
- Ma, J.L., Wei, G.J., Xu, Y.G., Long, W.G. y Sun, W.D., 2007. Mobilization and re-distribution of major and trace elements during extreme weathering of basalt in Hainan Island, South China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 71, p. 3223-3237.
- Muir J. W. and Logan J. (1982) Eluvial/illuvial coefficients of major elements and the corresponding loses and gains in three soil profiles. *Journal of Soil Science*. Vol. 33, p. 295–308.
- Mori, Y., Nishiyama, T. y Yanagi, T., 2003. Mass transfer and reaction paths in alteration zones around carbonate veins in the Nishisonogi Metamorphic Rocks, southwest Japan. *American Mineralogist*. Vol. 88, p. 611–623.
- Mukherjee P.K. and Gupta P.K., 2007. Arbitrary scaling in ISOCON method of geochemical mass balance: An evaluation of the graphical approach. *Geochemical Journal*, Vol. 42, p. 247–253.
- Nicholls J., 1988. The statistics of Pearce element diagrams and the Chayes closure problem. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Vol. 99, p. 11-24.
- Nesbitt, H.W. 1979. Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite. *Nature*. Vol. 279, p. 206-210.
- Nesbitt, H.W., y Young, G.M. (1984): Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 48, p. 1523-1534.
- Nesbitt, H.W., y Young, G.M., 1989. Formation and Diagenesis of Weathering Profiles. *The Journal of Geology*. Vol. 97, No. 2, pp. 129-147.
- Oliver, N.H.S, Cleverley, J.S., Mark, G., Pollard, P., Fu, B., Marchall, L.J., Rubenach, M.J., Williams, P. y Baker, T., 2004. Modeling the Role of Sodic Alteration in the Genesis of Iron Oxide-Copper-Gold Deposits, Eastern Mount Isa Block, Australia. *Economic Geology*. Vol. 99, p. 1145-1176.
- Ostrovsky, I.A., 1974. On the thermodynamics of open systems in geology. *Geological Journal*. Vol. 9, no. 2, p. 175-180.
- Potdevin, J.L., 1993. Gresens 92: A simple Macintosh program of the Gresens method. *Computers and Geosciences*. Vol. 19, no. 9, p. 1229-1238.
- Potdevin, J.L. y Marquer, D., 1987. Méthodes de quantification des transferts de matiere par les fluides dans les roches métamorphiques déformées. *Geodinamica Acta*. Vol. 1, p. 193-206.

- Preston, S.J., Hartley, A., Hole, M., Buck, S., Bond, J., Mange, M. y Still, J., 1998. Integrated whole-rock trace element geochemistry and heavy mineral chemistry studies: aids to the correlation of continental red-bed reservoirs in the Beryl Field, UK North. *Petroleum Geoscience*, Vol. 4, pp. 7–16.
- Pearce T.H., 1968. A Contribution to the Theory of Variation Diagram. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Vol. 19, p. 142-157.
- Pearce, J.A. y Peate, D.W., 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magma. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. Vol. 23, p. 251-285.
- Romeuf, N., 1994. Volcanisme Jurassique et Métamorphisme en Équateur et au Pérou: caractéristiques pétrographiques, minéralogiques et géochimiques. Implications géodynamiques. These Docteur en Sciences de l'Université de Droit d'Économie et des Sciences d'AIX-MARSEILLE. Paris, France.
- Russell, J.K., y Stanley, C.R., 1990. A theoretical basis for the development and use of chemical variation diagrams. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 54, p. 2419–2431. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(90\)90229-E](https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90229-E)
- Shore, M. 1996. Cooling and Crystallization of Komatiite Flows. Thesis de Doctorado. Centro de Geociencias de Ottawa-Carleton, Universidad de Ottawa. Ottawa, ontario, Canadá.
- Smith, R.E., Perdrix, J.L. y Parks, T.C., 1982. Burial Metamorphism in the Hamersley Basin, Western Australia. *Journal of Petrology*. Vol. 23, no. 1, p. 75-102.
- Stanley, C.R., y Madeisky, H.E., 1996, Lithogeochemical exploration for metasomatic zones associated with hydrothermal mineral deposits using Pearce element ratio analysis. *British Columbia, Canada, Mineral Deposit Research Unit, Short Course Notes on Pearce Element Ratio Analysis*, 99 p.
- Stanley, C. 2005. Numerical transformation of geochemical data: 1. Maximizing geochemical contrast to facilitate information extraction and improve data presentation. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. Vol. 5, p. 1-11.
- Stanley, C., 2006. Numerical transformation of geochemical data: i. Maximizing geochemical contrast to facilitate information extraction and improve data presentation. *Geochemistry Exploration Environment Analysis*. Vol. 5, p. 1-11.
- Stanley C.R. and Russell J.K., 1989. PEARCE.PLOT: Interactive graphics-supported software for testing petrologic hypotheses with Pearce element-ratio diagrams. *American Mineralogist*. Vol. 74, p. 273-276.
- Stanley, C.R., 1990. Descriptive Statistics for N-Dimensional Closed Arrays: A Spherical Coordinate Approach. *Mathematical Geology*. Vol. 22, no. 8, p. 933-956.

- Staudigel, H. 2014. Chemical Fluxes from Hydrothermal Alteration of the Oceanic Crust. In Rudnick, R.L. (Ed.), *Treatise in Geochemistry*. 2nd edition The Crust Vol. 4. Elsevier, Oxford, p. 583-606.
- Vernon, R.H. y Clarke, G.L., 2008. Principles of Metamorphic Petrology. *Cambridge University Press*. 478p.LII
- Williams-Jones, A.E. y Vasyukova, O.V., 2018. The economic geology of scandium, the runt 995 of the rare earth element litter. *Economic Geology*. Vol. 113, no. 4, p. 973–988.
- Wood, S.A. y Samson, I.A., 2006. The aqueous geochemistry of gallium, germanium, indium and scandium. *Ore Geology Reviews*. Vol. 28, p. 57 – 102.

Anexos

Anexo A. Tablas de datos originales utilizados en esta Tesis.....	137
Anexo B. Tablas de datos dr_i obtenidos a partir de la aplicación del método Isomasas..	167
Anexo C. Representación gráfica de resultados de Isomasas a partir de resultados desplegados en el Anexo D.....	193
Anexo D. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa calculados con la metodología Isomasas.....	228
Anexo E. Algoritmos escritos en MatLab [®] del Método Isomasas.....	231

Anexo A. Tablas de datos originales utilizados en esta Tesis.

En este Anexo se despliegan los datos replicados desde la bibliografía indicada en el texto y especificada en la bibliografía.

Tabla A.1. Geoquímica de roca total para muestras de suelo y roca madre de Jiang et al (2018).

Sample	No.	WC-1	WC-2	WC-3	WC-4	WC-5	WC-6	WC-7	WC-8	WC-9	WC-10	WC-11	WC-12	WC-13
Sample	(m)	Soil	Soil	Soil	Soil	Soil	Soil	Soil	Soil	Soil	Soil	Soil	Soil	SPc
Depth		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,8
SiO2	(%)	29,5	29,9	30,5	30,3	30,6	30,9	27,7	32,1	32,3	32	30,9	13,3	32,4
TiO2	(%)	4,14	4,25	3,97	4	3,91	3,68	3,27	3,44	3,49	3,48	3,73	5,03	3,32
Al2O3	(%)	26,1	26,5	27	26,9	27,3	27,8	28,6	28	27,9	27,7	27,5	32,3	28,3
Fe2O3	(%)	22,2	22,9	22,5	22,5	22,6	22,4	24,2	21,6	21,7	21,6	22,7	28,5	20,9
MnO	(%)	0,14	0,18	0,19	0,18	0,2	0,21	0,19	0,16	0,14	0,16	0,19	0,13	0,38
P2O5	(%)	0,42	0,25	0,22	0,22	0,22	0,22	0,25	0,21	0,22	0,22	0,36	0,64	0,34
MgO	(%)	0,39	0,32	0,31	0,28	0,29	0,29	0,27	0,32	0,34	0,34	0,35	0,23	0,31
CaO	(%)	0,18	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01
Na2O	(%)	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
K2O	(%)	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01
LOI	(%)	15,5	15,2	14,6	14,4	14,2	14,1	14,8	13,6	13,4	13,4	13,7	19,2	13,7
Total	(%)	98,68	99,56	99,33	98,83	99,37	99,65	99,33	99,46	99,53	98,94	99,47	99,31	99,68
Li	(ppm)	3,56	3,69	3,98	3,96	3,65	3,85	3,82	4,54	3,94	3,76	4,6	2,25	8,38
Be	(ppm)	1,81	1,79	1,63	2,05	1,57	1,87	1,81	2,05	1,94	1,76	2,46	2,5	1,68
Sc	(ppm)	37,5	38,2	36,8	37,2	38	37,8	40,3	36,5	37,3	38	44,8	58,4	34,6
V	(ppm)	237	239	224	225	227	219	238	203	202	193	216	272	195
Cr	(ppm)	378	348	328	326	340	334	474	316	291	298	664	1770	422
Co	(ppm)	40,1	45,2	40,7	38,4	37,6	39,8	40,9	43,8	62,8	55,7	113	43,7	195
Ni	(ppm)	216	217	211	204	210	205	201	219	222	229	351	260	365
Cu	(ppm)	114	141	112	112	112	114	121	112	112	112	137	154	126
Zn	(ppm)	158	165	135	133	141	127	126	130	116	140	142	141	122
Ga	(ppm)	38,3	38,8	39,8	39,7	39,6	39,3	39	38,1	39,3	39	39,4	50	37,1
Rb	(ppm)	2,39	1,94	1,78	1,79	1,88	1,71	1,54	1,46	1,17	1,11	0,956	0,494	0,874
Sr	(ppm)	33	20,3	18,8	19,6	20	18,7	15,8	14,3	12,5	10,2	13,5	6,09	5,51
Zr	(ppm)	290	287	274	280	273	264	251	254	248	254	248	317	215
Nb	(ppm)	58	57,3	52,2	53,4	51,6	48,4	43,4	42,3	42,3	40,8	41,4	51,8	36,1
Mo	(ppm)	2,11	2,02	1,87	2,08	2,12	1,81	1,89	1,42	1,5	1,37	1,41	1,98	1,46
Cs	(ppm)	0,27	0,288	0,274	0,324	0,312	0,307	0,251	0,26	0,208	0,209	0,185	0,098	0,136
Ba	(ppm)	52,8	47,4	39,3	42,2	50,3	42,8	38,3	49,2	72,5	56,3	251	102	216
Hf	(ppm)	7,11	7,07	6,92	6,99	7,19	6,7	6,45	6,63	6,05	6,25	6,75	8,39	5,51
Ta	(ppm)	3,64	3,58	3,25	3,25	3,19	2,9	2,66	2,5	2,54	2,53	2,6	3,26	2,12
Pb	(ppm)	6,56	6,66	5,2	5,5	4,96	4,8	4,53	4,06	5,54	3,86	5,31	4,12	4,66
Th	(ppm)	7,21	6,51	6,24	6,48	6,14	5,84	5,43	5,1	5,17	4,98	5,46	6,39	4,12
U	(ppm)	1,77	1,44	1,33	1,35	1,34	1,3	1,36	1,11	1,07	0,974	1,21	1,83	0,844
TOC	(%)	1,53	1,32	0,749	0,723	0,779	0,435	0,321	0,256	0,238	0,237	0,217	0,189	0,186
IC	(%)	0,27	0,139	0,118	0,277	0,026	0,174	0,113	0,099	0,094	0,062	0,043		
pH		5,07	4,77	4,69	4,67	4,74	4,65	4,7	4,83	4,87	4,92	4,98	5,03	5,06
Nb/Ta		15,9	16	16,1	16,4	16,2	16,7	16,3	16,9	16,7	16,1	15,9	15,9	17
Zr/Hf		40,8	40,6	39,6	40,1	38	39,4	38,9	38,3	42	39,7	37,6	37,8	39
Th/Nb		0,124	0,114	0,12	0,121	0,119	0,121	0,125	0,121	0,122	0,122	0,132	0,123	0,114
Th/Zr		0,025	0,023	0,023	0,023	0,022	0,022	0,022	0,02	0,02	0,02	0,021	0,02	0,019
Th/TiO2		1,74	1,53	1,57	1,62	1,57	1,59	1,66	1,48	1,48	1,43	1,46	1,27	1,24
TiO2/Zr		0,014	0,015	0,014	0,014	0,014	0,014	0,013	0,014	0,014	0,014	0,015	0,016	0,015

Tabla A.1. Continuación

Sample	No.	WC-14	WC-15	WC-16	WC-17	WC-18	WC-19	WC-20	WC-21	WC-22	WC-23	WC-24	WC-25	WC-26	WC-27
Sample		SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP
Depth	(m)	3,1	3,5	3,9	4,4	4,9	5,3	5,7	6,1	6,7	7,1	7,3	7,5	8	8,4
SiO2	(%)	32,3	34,2	32,6	33,3	35,8	33,4	33,2	32,4	34,5	34,8	33,3	33,9	33,6	33,2
TiO2	(%)	3,7	3,41	3,97	3,78	3,13	3,61	3,65	3,53	3,57	3,84	3,94	3,77	3,65	3,8
Al2O3	(%)	27	27,9	26,8	27	29,3	28,1	27,5	27,5	28,2	28,4	27,2	27,2	27	26,6
Fe2O3	(%)	22,3	19,6	22,2	22,3	17,2	20,2	21,1	20,1	19,1	18,6	21,3	21,9	21,4	22,6
MnO	(%)	0,21	0,43	0,31	0,19	0,13	0,23	0,23	1,82	0,47	0,32	0,29	0,19	0,28	0,21
P2O5	(%)	0,25	0,2	0,24	0,23	0,2	0,34	0,24	0,25	0,19	0,25	0,19	0,16	0,18	0,16
MgO	(%)	0,3	0,51	0,37	0,42	0,47	0,29	0,4	0,33	0,39	0,46	0,46	0,5	0,5	0,45
CaO	(%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01
Na2O	(%)	0,01	0,01	0,03	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
K2O	(%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
LOI	(%)	13	13	12,4	12,3	12,8	12,9	12,4	12,9	12,6	12,4	12	12	12,1	11,8
Total	(%)	99,09	99,28	98,94	99,55	99,05	99,08	98,75	98,86	99,04	99,1	98,73	99,64	98,73	98,85
Li	(ppm)	3,7	13,4	6,64	3,17	4,13	6,35	3,69	91,6	32,7	24,1	15,5	3,71	9,35	4,04
Be	(ppm)	2,41	1,72	1,93	1,72	1,93	3,04	2,2	2,84	2,43	2,13	2,11	1,57	1,56	2
Sc	(ppm)	32,4	29,5	35,4	36,6	30,5	41,8	36	42	33,1	32,1	33,5	32	33,3	30,8
V	(ppm)	187	188	223	206	197	208	211	180	178	212	202	165	159	141
Cr	(ppm)	355	284	354	346	203	282	257	243	283	223	222	213	188	190
Co	(ppm)	64,2	201	105	52,9	47,7	152	35,8	1830	603	407	334	46,4	88,3	69,2
Ni	(ppm)	271	247	207	196	168	348	190	631	286	258	224	182	231	171
Cu	(ppm)	109	117	125	122	98,7	125	111	371	220	163	159	89,3	93,6	79,9
Zn	(ppm)	129	144	127	109	100	133	116	272	161	212	159	128	126	109
Ga	(ppm)	38,7	35,8	40,7	38,5	33,5	37,1	38,1	38,4	37,5	38,2	39,8	38,1	36,8	37,7
Rb	(ppm)	0,822	0,86	1,03	0,493	1,3	0,61	1,72	0,767	0,904	1,07	1,09	0,656	0,845	0,71
Sr	(ppm)	5,52	11,8	51,4	34,4	24	6,35	6,9	11,6	40,7	119	48,9	28,6	22,9	33,8
Zr	(ppm)	240	224	272	260	209	234	236	219	225	242	262	248	242	249
Nb	(ppm)	40,7	38,5	52,1	49,6	36,8	38,9	39,2	36,9	37,3	43,9	47,1	47,1	45,5	46
Mo	(ppm)	1,26	1,43	1,38	1,62	0,768	1,03	1,16	1,94	1,07	0,909	0,88	0,977	0,802	1,1
Cs	(ppm)	0,14	0,141	0,165	0,18	0,242	0,109	0,232	0,161	0,198	0,225	0,208	0,193	0,253	0,251
Ba	(ppm)	135	190	235	128	99	211	159	1100	515	684	545	154	156	196
Hf	(ppm)	6,45	5,4	7,01	6,65	5,08	6,23	5,76	6,01	5,63	6,11	6,99	6,23	5,65	6,36
Ta	(ppm)	2,46	2,31	3,21	3,09	2,12	2,42	2,39	2,23	2,27	2,48	2,8	2,77	2,69	2,72
Pb	(ppm)	5,04	4,23	4,06	4,48	2,6	3,78	3,83	4,81	3,59	3,93	4,57	3,67	3,44	4,95
Th	(ppm)	4,94	4,81	5,97	5,86	4,3	4,48	4,58	4,42	4,51	5,02	5,76	5,45	5,19	5,24
U	(ppm)	0,941	1,29	1,42	1,35	1,06	1,21	0,998	1,19	2,19	2,79	2,2	1,08	0,885	0,822
TOC	(%)	0,166	0,1	0,128	0,243	0,095	0,084	0,144	0,111	0,103	0,12	0,112	0,173	0,095	0,099
IC	(%)	0,009	0,012	0,005		0,011									
pH		5,08	5,01	4,96	4,92	4,81	4,84	4,74	4,81	4,71	4,75	4,75	4,77	4,81	4,77
Nb/Ta		16,5	16,7	16,2	16,1	17,4	16,1	16,4	16,5	16,4	17,7	16,8	17	16,9	16,9
Zr/Hf		37,2	41,5	38,8	39,1	41,1	37,6	41	36,4	40	39,6	37,5	39,8	42,8	39,2
Th/Nb		0,121	0,125	0,115	0,118	0,117	0,115	0,117	0,12	0,121	0,114	0,122	0,116	0,114	0,114
Th/Zr		0,021	0,021	0,022	0,023	0,021	0,019	0,019	0,02	0,02	0,021	0,022	0,022	0,021	0,021
Th/TiO2		1,34	1,41	1,5	1,55	1,37	1,24	1,25	1,25	1,26	1,31	1,46	1,45	1,42	1,38
TiO2/Zr		0,015	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,016	0,016	0,015	0,015	0,015	0,015

Tabla A.1. Continuación

Sample	No.	WC-28	WC-29	WC-30	WC-31	WC-31a	WC-32	WC-33	WC-34	WC-35	WC-36	WC-37	WC-38
Sample		SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP
Depth	(m)	8,6	8,8	9,1	9,28		9,56	9,84	10,12	10,4	10,68	10,96	11,24
SiO2	(%)	32,5	34,4	34,5	34,7	34,7	34,7	34,8	34,2	33,7	34,5	34,6	34,6
TiO2	(%)	3,86	3,83	3,73	3,66	3,65	3,82	3,49	3,64	3,76	3,59	3,54	3,53
Al2O3	(%)	26	27,1	27,3	27,3	27,3	27,2	27,4	26,9	26,4	27	27	26,8
Fe2O3	(%)	24,2	21,5	21,1	21,1	21,1	21,2	20,6	21,9	23	21,7	21,6	20,7
MnO	(%)	0,29	0,19	0,23	0,2	0,22	0,24	0,28	0,38	0,4	0,26	0,27	0,28
P2O5	(%)	0,17	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,14	0,1	0,1	0,21
MgO	(%)	0,45	0,47	0,59	0,55	0,55	0,58	0,68	0,62	0,6	0,68	0,62	0,8
CaO	(%)	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,05
Na2O	(%)	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02
K2O	(%)	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
LOI	(%)	11,5	11,5	11,8	11,74	11,6	11,7	12,1	11,7	11,5	12	12,2	12,3
Total	(%)	99,01	99,19	99,42	99,41	99,29	99,62	99,53	99,5	99,56	99,89	99,91	99,32
Li	(ppm)	4,02	3,84	155	3,45	3,15	3,95	3,46	3,82	3,51	3,22	3,09	3,34
Be	(ppm)	1,99	1,91	3,37	1,34	1,84	1,86	1,63	1,6	1,54	1,87	2,13	2,12
Sc	(ppm)	32,7	29,3	25,1	28,8	29,6	29,6	30,2	29,9	30,2	34,3	33,1	35,9
V	(ppm)	166	162	247	137	134	137	125	136	181	134	124	153
Cr	(ppm)	258	237	152	206	221	200	149	162	226	151	143	186
Co	(ppm)	78,2	64	45,4	53,6	66,4	87	80,2	96,4	102	120	92,4	89,9
Ni	(ppm)	168	142	101	119	109	119	106	122	130	121	116	173
Cu	(ppm)	93,6	77,2	63,8	72,4	69,5	78,9	91,9	97,9	98,7	106	100	118
Zn	(ppm)	115	112	110	138	94	135	121	143	130	125	118	129
Ga	(ppm)	41,2	40,5	34,2	36,9	36,2	39,1	36,3	38,2	37,6	38,9	36,5	35,9
Rb	(ppm)	1,61	1,17	2,13	0,872	0,732	0,661	0,804	0,793	0,68	0,598	0,738	0,753
Sr	(ppm)	46,2	38,7	35,5	34,6	33,1	48,3	31,9	33,5	40,7	7,12	5,4	15,5
Zr	(ppm)	263	260	265	236	234	252	233	238	243	230	224	240
Nb	(ppm)	47,5	47,7	39,8	43,4	47,3	45,8	42,7	42,3	42,8	40,9	39,1	43,6
Mo	(ppm)	0,926	0,952	1,02	1,04	1,19	1,22	0,944	1,09	0,982	0,863	0,771	1,01
Cs	(ppm)	0,247	0,266	0,412	0,264	0,228	0,23	0,235	0,206	0,203	0,187	0,188	0,138
Ba	(ppm)	246	193	118	176	178	232	184	239	322	82,8	74	123
Hf	(ppm)	6,77	6,41	6,83	5,43	6,05	6,04	5,72	6,08	6,16	5,38	5,23	6,43
Ta	(ppm)	2,85	2,84	2,46	2,48	2,68	2,72	2,36	2,51	2,58	2,34	2,33	2,8
Pb	(ppm)	4,08	4,48	6,63	3,37	3,37	4,2	3,76	4,08	4,33	3,3	2,88	3,22
Th	(ppm)	5,68	5,5	7,78	4,88	5,29	5,3	4,79	5,07	4,85	4,76	4,5	5,42
U	(ppm)	0,868	0,913	4,92	0,884	0,94	0,951	1,06	1,08	0,877	0,849	0,771	1,08
TOC	(%)	0,097	0,103	0,167	0,113		0,093	0,081	0,123	0,201	0,137	0,073	0,073
IC	(%)												
pH		4,75	4,74	4,79	4,85		4,82	4,87	4,94	4,93	4,93	4,97	5
Nb/Ta		16,7	16,8	16,2	17,5	17,6	16,8	18,1	16,9	16,6	17,5	16,8	15,6
Zr/Hf		38,8	40,6	38,8	43,5	38,7	41,7	40,7	39,1	39,4	42,8	42,8	37,3
Th/Nb		0,12	0,115	0,195	0,112	0,112	0,116	0,112	0,12	0,113	0,116	0,115	0,124
Th/Zr		0,022	0,021	0,029	0,021	0,023	0,021	0,021	0,021	0,02	0,021	0,02	0,023
Th/TiO2		1,47	1,44	2,09	1,33	1,45	1,39	1,37	1,39	1,29	1,33	1,27	1,54
TiO2/Zr		0,015	0,015	0,014	0,016	0,016	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,016	0,015

Tabla A.1. Continuación

Sample	No.	WC-39	WC-40	WC-41	WC-42	WC-43	WC-44	WC-45	WC-46	WC-47	WC-48	WC-49	WC-50	WC-51	WC-52
Sample		SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP
Depth	(m)	11,52	11,8	12,08	12,36	12,64	12,92	13,2	13,48	13,76	14,04	14,32	14,6	14,88	15,16
SiO2	(%)	33,6	34,4	34,1	34,9	35,6	34	34,1	35	34	35,5	33,4	34,7	35,6	37,5
TiO2	(%)	3,56	3,53	3,54	3,66	3,38	3,83	3,73	3,45	3,71	3,18	3,50	3,32	3,72	3,02
Al2O3	(%)	26,2	26,6	26,9	26,5	26,9	26,2	26,5	26,6	26,1	26,5	26,1	25,1	24,1	24,9
Fe2O3	(%)	22	21,5	21,4	21,2	20,2	22,1	21,5	19,7	21,3	19,7	21,1	20,9	20,5	18,1
MnO	(%)	0,33	0,27	0,37	0,28	0,26	0,57	0,26	0,28	0,3	0,33	0,27	0,44	0,14	0,28
P2O5	(%)	0,36	0,14	0,21	0,09	0,08	0,15	0,16	0,26	0,37	0,36	0,56	0,62	0,62	0,42
MgO	(%)	0,99	0,74	0,73	0,93	0,76	0,63	0,6	0,78	0,85	1,22	0,80	0,87	1,76	2,00
CaO	(%)	0,06	0,08	0,06	0,13	0,14	0,13	0,09	0,14	0,14	0,17	0,16	0,20	0,30	0,33
Na2O	(%)	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04
K2O	(%)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
LOI	(%)	12,4	12,1	12,2	12	11,7	11,8	11,9	12,6	12,2	12,6	12,89	12,61	12,24	12,31
Total	(%)	99,48	99,35	99,52	99,76	99,06	99,4	98,81	98,79	99,03	99,57	98,82	98,81	99,02	98,91
Li	(ppm)	3,57	3,84	6,29	3,63	4,6	6,34	4,65	4,51	5,56	4,15	6,44	4,88	4,84	5,00
Be	(ppm)	3,39	2,11	2,26	1,91	1,69	2,53	2,37	3,21	4,43	4,5	6,28	6,52	6,18	5,38
Sc	(ppm)	39,4	36,8	36,6	35	31	34,5	35,4	36,4	36,8	37,6	42,5	38,9	35,1	27,7
V	(ppm)	186	150	160	140	139	162	157	159	191	185	240	234	232	201
Cr	(ppm)	274	216	216	162	254	238	233	216	284	279	417	331	376	258
Co	(ppm)	106	111	154	79,1	74,1	171	86	78,5	109	104	160	135	59,8	70,3
Ni	(ppm)	217	156	185	124	140	202	175	243	292	229	497	506	553	411
Cu	(ppm)	137	113	127	109	97	134	116	129	146	141	185	191	189	139
Zn	(ppm)	131	147	146	157	107	147	151	170	171	203	173	196	262	213
Ga	(ppm)	37,9	37,3	37,2	37,3	34,2	37,7	37,9	34,6	36,2	33,1	36,6	37,2	36,0	31,2
Rb	(ppm)	0,782	0,956	1,06	0,841	0,89	2,14	1,12	0,909	0,759	0,692	0,841	1,19	0,750	0,922
Sr	(ppm)	18,1	15	28,1	11,5	11,6	30,3	14,2	16,5	24,5	15,7	17,6	29,4	79,7	27,0
Zr	(ppm)	253	238	240	234	217	260	255	230	239	206	229	220	256	197
Nb	(ppm)	47,4	40,3	42,6	38,5	35,6	44,5	43,4	39,7	40,7	35,9	39,4	38,0	45,2	35,7
Mo	(ppm)	1,25	2,01	1,34	1,45	1,29	1,18	1,4	1,13	1,2	1,13	1,25	1,26	1,08	0,943
Cs	(ppm)	0,136	0,188	0,171	0,199	0,122	0,221	0,17	0,115	0,149	0,104	0,107	0,224	0,086	0,114
Ba	(ppm)	177	133	215	85,4	142	347	137	146	186	136	290	357	357	300
Hf	(ppm)	6,73	6,33	6,18	6,41	6,04	6,94	6,49	5,77	6,11	5,28	5,71	5,99	6,75	4,76
Ta	(ppm)	2,98	2,64	2,65	2,4	2,2	2,89	2,78	2,36	2,43	2,12	2,40	2,31	2,73	2,06
Pb	(ppm)	3,42	3,99	4,31	2,53	2,99	4,62	3,91	2,86	3,13	3,55	4,02	2,90	2,56	2,18
Th	(ppm)	5,97	4,84	5,11	4,33	4,11	5,5	5,11	4,29	4,79	3,97	4,78	4,40	5,11	3,93
U	(ppm)	1,32	1,18	1,2	1,31	0,719	1,11	0,958	1	1,28	1,1	1,25	1,16	0,957	0,691
TOC	(%)	0,244	0,185	0,205	0,197	0,173	0,182	0,17	0,136	0,139	0,153	0,164	0,207	0,199	0,172
IC	(%)														
pH		5	5,01	4,98	5,24	5,43	5,29	5,28	5,47	5,58	5,55	5,95	6,05	6,07	6,05
Nb/Ta		15,9	15,3	16,1	16	16,2	15,4	15,6	16,8	16,7	16,9	16,4	16,5	16,6	17,3
Zr/Hf		37,6	37,6	38,8	36,5	35,9	37,5	39,3	39,9	39,1	39	40,1	36,7	37,9	41,4
Th/Nb		0,126	0,12	0,12	0,112	0,115	0,124	0,118	0,108	0,118	0,111	0,121	0,116	0,113	0,110
Th/Zr		0,024	0,02	0,021	0,019	0,019	0,021	0,02	0,019	0,02	0,019	0,021	0,020	0,020	0,020
Th/TiO2		1,68	1,37	1,44	1,18	1,22	1,44	1,37	1,24	1,29	1,25	1,37	1,33	1,37	1,30
TiO2/Zr		0,014	0,015	0,015	0,016	0,016	0,015	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015

Tabla A.1. Continuación

Sample	No.	WC-53	WC-54	WC-55	WC-56	WC-57	WC-58
Sample		SWBd	Basalt	Basalt	Basalt	Basalt	Basalt
Depth	(m)	15.28	15.83	16.43	17.43	18.73	19.73
SiO ₂	(%)	42.7	51.4	51.4	50.2	51.1	51.1
TiO ₂	(%)	2.68	1.96	1.93	1.90	1.93	1.93
Al ₂ O ₃	(%)	18.8	14.2	14.1	13.9	14.1	14.1
Fe ₂ O ₃	(%)	14.8	11.0	11.3	11.7	11.5	11.5
MnO	(%)	0.12	0.12	0.17	0.13	0.15	0.15
P ₂ O ₅	(%)	0.57	0.32	0.33	0.32	0.32	0.32
MgO	(%)	5.35	6.8	7.44	7.53	7.39	7.40
CaO	(%)	4.34	8.67	8.45	8.46	8.71	8.68
Na ₂ O	(%)	0.96	3.08	3.20	2.84	2.96	2.93
K ₂ O	(%)	0.24	0.78	1.02	0.64	0.68	0.68
LOI	(%)	9.22	1.14	0.66	1.68	0.63	0.57
Total	(%)	99.78	99.47	100	99.3	99.47	99.36
Li	(ppm)	40.8	5.36	5.64	5.23	5.56	5.77
Be	(ppm)	2.72	1.53	1.26	1.18	1.23	1.23
Sc	(ppm)	27.1	20.3	18.8	18.3	19.5	19.0
V	(ppm)	187	160	150	148	153	148
Cr	(ppm)	349	210	215	200	213	206
Co	(ppm)	49.8	61.1	62.3	47.3	58.5	70.5
Ni	(ppm)	589	150	149	142	143	141
Cu	(ppm)	192	63.4	62.7	60.1	66.8	62.6
Zn	(ppm)	535	124	112	111	116	109
Ga	(ppm)	26.8	20.1	18.7	19.1	19.7	19.1
Rb	(ppm)	4.04	19.0	25.2	12.9	16.7	15.8
Sr	(ppm)	115	423	386	394	431	417
Zr	(ppm)	178	136	131	126	137	130
Nb	(ppm)	31.4	24.7	23.9	22.9	24.4	22.4
Mo	(ppm)	0.605	0.644	1.03	0.697	1.12	1.14
Cs	(ppm)	0.326	0.516	0.268	0.389	0.306	0.316
Ba	(ppm)	451	324	310	303	296	279
Hf	(ppm)	4.25	3.33	3.19	3.07	3.28	3.16
Ta	(ppm)	1.90	1.45	1.37	1.42	1.47	1.45
Pb	(ppm)	2.55	1.66	1.55	1.76	1.30	1.34
Th	(ppm)	3.50	2.70	2.56	2.51	2.71	2.65
U	(ppm)	0.850	0.602	0.567	1.02	0.668	0.596
TOC	(%)	0.136					
IC	(%)						
pH		5.84					
Nb/Ta		16.5	17.0	17.4	16.1	16.6	15.4
Zr/Hf		41.9	40.8	41.1	41.0	41.8	41.1
Th/Nb		0.111	0.109	0.107	0.110	0.111	0.118
Th/Zr		0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
Th/TiO ₂		1.31	1.38	1.33	1.32	1.40	1.37
TiO ₂ /Zr		0.015	0.014	0.015	0.015	0.014	0.015

Tabla A.2. Geoquímica de roca total para muestras de suelo y roca madre de Liu et al (2016).

Sample no.	Depth (cm)	CEC (cmol(+)/kg)	ExchangeabiliBS (cmol(+)/kg) (%)	CIA	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	K2O (%)	Na2O (%)	CaO (%)	MgO (%)	FeOT (%)	MnO (%)	TiO2 (%)	P2O5 (%)	LOI (%)	
JLN-S1-01	0-20	14,12	1,36	14,16	88,01	62,02	17,9	2,06	0,07	0,04	0,13	4,17	0,02	0,37	0,04	13,81
JLN-S1-02	20-30	9,16	0,92	13,87	91,44	66,96	18,09	1,45	0,04	0,02	0,11	4,28	0,01	0,33	0,03	9,3
JLN-S1-03	30-40	9,06	0,85	12,4	91,98	55,57	25,47	1,92	0,05	0,02	0,17	5,82	0,01	0,43	0,03	11,42
JLN-S1-04	40-50	8,61	0,89	14,23	92,44	64	20,86	1,47	0,04	0,02	0,14	4,85	0,01	0,35	0,03	9,15
JLN-S1-05	50-60	8,11	0,89	14,9	92,25	67,64	18,47	1,33	0,04	0,02	0,13	4,3	0,01	0,31	0,02	8,01
JLN-S1-07	70-80	7,66	1,17	22,91	92,42	74,71	14,5	1	0,03	0,02	0,1	3,44	0,01	0,24	0,02	5,97
JLN-S1-09	90-100	7,78	1,16	22,49	91,84	77,54	13,3	1	0,03	0,02	0,09	3,05	0,01	0,22	0,02	5,42
JLN-S1-11	110-120	6,84	0,78	14,96	90,72	75,1	14,72	1,3	0,04	0,01	0,09	3,21	0,02	0,24	0,02	5,76
JLN-S1-13	130-140	6,33	0,75	16,78	90,15	75,86	14,14	1,33	0,04	0,01	0,08	3	0,01	0,23	0,01	5,59
JLN-S1-15	150-160	6,92	0,8	18,18	88,61	67,95	17,98	2	0,06	0,02	0,11	3,91	0,02	0,31	0,02	7,28
JLN-S1-17	170-180	6,58	1,28	32,76	89,09	88,36	6,22	0,63	0,02	0,04	1,51	1,51	0,01	0,11	0,01	2,56
JLN-S1-18	180-190	6,46	0,89	21,75	88,67	85,66	7,8	0,84	0,03	0,01	0,06	1,98	0,01	0,15	0,01	3,12
JLN-S1-19	190-200	6,01	0,75	19,42	86,62	78,76	12,26	1,64	0,04	0,02	0,08	2,75	0,02	0,21	0,02	4,63
JLN-S1-20	200-220	6,43	0,73	17,42	86,99	74,6	14,4	1,87	0,05	0,02	0,09	3,24	0,02	0,25	0,02	5,46
JLN-S1-21	220-240	6,3	1,8	51,07	84,99	83,68	9,28	1,41	0,04	0,02	0,06	2,12	0,02	0,16	0,01	3,48
JLN-S1-23	260-280	6,77	1,06	26,22	83,71	73,64	14,95	2,55	0,06	0,02	0,08	3,17	0,07	0,24	0,02	5,28
JLN-S1-24	280-300	7,56	2,15	51,47	84,81	72,81	15,43	2,4	0,06	0,02	0,09	3,37	0,05	0,27	0,02	5,81
JLN-S1-25	300-320	7,49	1,77	42,3	83,49	70,6	16,77	2,85	0,07	0,04	0,1	3,37	0,07	0,27	0,02	6,26
JLN-S1-26	320-340	7,32	2,63	65,96	81,43	70	16,96	3,34	0,08	0,04	0,1	3,36	0,08	0,26	0,02	6,18
JLN-S1-28	360-380	5,87	1,71	48,66	74,56	68,69	17,65	5,35	0,11	0,02	0,07	2,94	0,04	0,29	0,02	5,2
JLN-S1-29	380-400	5,74	1,35	35,73	70,25	71,76	15,75	5,88	0,14	0,02	0,07	2,38	0,05	0,26	0,01	4,09
JLN-S1-30	400-420	4,75	1,48	50,17	72,13	68,34	17,19	5,9	0,12	0,02	0,08	3,04	0,06	0,3	0,02	4,78
JLN-S1-33	460-480	4,74	0,73	21,59	72,23	69,6	16,55	5,66	0,11	0,02	0,08	3,26	0,06	0,28	0,02	4,58
JLN-S1-36	520-560	4,96	1,23	42,4	68,94	71,65	15,32	6,13	0,13	0,02	0,06	2,07	0,04	0,21	0,01	3,6
JLN-S1-37	560-580	4,57	1,79	63,31	69,8	69,7	16,57	6,32	0,16	0,02	0,07	2,45	0,04	0,26	0,01	4,11
JLN-S1-41	640-660	6,14	1,67	38,93	66,58	71,41	14,61	6,19	0,34	0,03	0,07	2,58	0,13	0,21	0,02	3,38
JLN-S1-44	700-720	5,89	1,52	41,35	61,64	70,64	15,61	6,49	1,49	0,08	0,07	2,73	0,05	0,23	0,02	2,92
JLN-S1-47	760-780	5,44	1,15	32,19	67,3	71,88	15,51	5,84	0,65	0,05	0,08	2,52	0,08	0,26	0,02	3,48
JLN-S1-50	850-900	4,23	1,57	62,26	66,51	72,67	14,68	6,02	0,47	0,04	0,1	2,51	0,06	0,24	0,01	2,78
JLN-S1-51	900-950	5,43	1,14	35,39	65,17	72,93	14,25	5,84	0,7	0,05	0,1	2,47	0,06	0,23	0,01	3,06
JLN-S1-52	950-1000	4,68	0,97	31,42	59,35	72,77	14,7	6,17	1,9	0,1	0,08	2,25	0,07	0,21	0,02	2,52
JLN-S1-53	1000-1100	4,24	1,37	52,23	57,77	76,33	12,7	5,37	1,94	0,11	0,07	2,01	0,06	0,18	0,02	1,96
JLN-R1					49,76	74,1	12,89	5,24	3,1	0,87	0,18	2,43	0,06	0,2	0,03	0,6
JLN-R2					48,96	73	13,07	5,1	3,34	1,02	0,21	2,76	0,07	0,22	0,04	0,48
JLN-R3					49,99	73,58	13,25	5,15	3,19	0,95	0,18	2,37	0,07	0,2	0,04	0,42
JLN-R4					52,37	74,64	12,68	4,68	3,18	0,48	0,21	2,97	0,05	0,24	0,05	0,68
JLN-S2-01	0-5	13,93	1,94	23,71	93,27	66,97	16,05	0,85	0,03	0,07	0,1	3,71	0,02	0,28	0,03	12,55
JLN-S2-02	5-10	10,66	0,63	9,07	94,35	69,45	16,53	0,82	0,03	0,02	0,09	3,85	0,01	0,28	0,02	9,87
JLN-S2-03	10-15	10,29	0,87	13,54	95,31	63,36	20,19	0,8	0,03	0,03	0,11	4,65	0,02	0,31	0,03	11,39
JLN-S2-05	20-25	7,58	0,66	12,85	95,97	65,72	20,51	0,72	0,02	0,02	0,11	4,6	0,01	0,3	0,02	9,33 v
JLN-S2-07	30-40	8,76	0,42	6,02	95,86	68,04	19,33	0,69	0,02	0,02	0,1	4,27	0,01	0,3	0,02	8,39
JLN-S2-09	50-60	7,25	0,62	11,54	95,62	70,13	18,26	0,71	0,02	0,01	0,08	4,02	0,01	0,3	0,02	7,57
JLN-S2-10	60-70	6,42	0,65	14,21	95,12	76,28	14,57	0,62	0,02	0,02	0,08	3,22	0,01	0,23	0,02	5,85
JLN-S2-13	90-100	6,76	0,59	12,95	94,44	66,54	20,01	1,01	0,03	0,01	0,08	4,24	0,01	0,32	0,02	8,19
JLN-S2-15	110-120	7,03	0,62	12,77	94,07	76,6	14,23	0,76	0,03	0,01	0,06	3,1	0,01	0,23	0,02	5,82
JLN-S3-01	0-5	14,55	1,65	17,97	95,14	68,61	17,86	0,74	0,02	0,03	0,08	3,7	0,02	0,25	0,02	10,01
JLN-S3-02	5-10	9,11	0,82	13,31	95,06	65,4	20,41	0,9	0,03	0,01	0,08	4,33	0,02	0,3	0,02	9,53
JLN-S3-03	10-15	8,25	0,76	13,55	95,75	68,45	19,02	0,69	0,02	0,02	0,09	3,95	0,01	0,25	0,02	8,52
JLN-S3-05	20-25				96,07	66,47	20,5	0,7	0,02	0,02	0,08	4,17	0,01	0,28	0,02	8,77
JLN-S3-07	30-40	7,28	0,68	13,46	95,89	74,42	15,62	0,52	0,03	0,02	0,09	3,15	0,01	0,21	0,02	6,59
JLN-S3-09	50-60	6,85	0,64	13,23	96,12	69,16	18,91	0,65	0,02	0,01	0,07	3,81	0,01	0,27	0,02	7,79
JLN-S3-12	80-90	7,37	0,66	13,04	95,39	67,4	19,96	0,83	0,02	0,01	0,07	3,92	0,02	0,29	0,02	8,09
JLN-S3-15	110-120	5,98	0,59	13,93	94,42	67,96	19,61	1	0,03	0,01	0,06	3,83	0,01	0,3	0,02	7,93
JLN-S4-01	0-5	12,97	2,12	27,83	97,63	70,37	16,08	0,25	0,02	0,03	0,09	4,31	0,01	0,3	0,02	9,25
JLN-S4-02	5-10	7,88	1,08	20,77	98,02	71,15	16,35	0,24	0,02	0,02	0,09	4,34	0,01	0,28	0,02	8,09
JLN-S4-04	15-20	9	0,39	7,6	98,11	60,14	23,18	0,34	0,02	0,02	0,12	5,84	0,01	0,41	0,02	10,58
JLN-S4-05	20-25	7,41	0,74	15,58	97,99	65,17	20,35	0,29	0,02	0,02	0,11	5,18	0,01	0,35	0,02	9,11
JLN-S4-07	30-40	7,23	0,21	4,68	98,01	62,94	22,23	0,32	0,02	0,03	0,11	5,49	0,01	0,38	0,02	9,81
JLN-S4-09	50-60	6,78	0,13	2,59	98,12	66,81	19,88	0,29	0,02	0,01	0,09	4,86	0,01	0,34	0,02	8,51
JLN-S4-12	80-90	6,84	0,08	1,57	98,29	66,48	20,28	0,27	0,02	0,01	0,07	4,76	0,01	0,34	0,02	8,77
JLN-S4-15	110-120	6,2	0,09	1,9	98,32	65,69	20,86	0,27	0,02	0,01	0,09	4,64	0,01	0,34	0,02	8,91

Tabla A.3. Geoquímica de roca total para muestras de suelo y roca madre de Condie et al (1995).

Prof (m)	25,6	23,8	20,6	12,2	10,4	6,7	4,57	3,9	3,05	1,83	0,4	0,15	0,02	CR1-1	CR1-2	Fo-1 shale	Fo-2 shale	Fo-3 shale	Fo-ss sandstone	
SiO2	66,47	70,7	70,78	61,2	59,71	63,97	57,5	61,48	59,3	60,8	59,48	58,53	56,63	SiO2	69	70,4	58,59	59,52	66,77	76,6
TiO2	0,37	0,52	0,34	0,94	0,74	0,55	0,99	0,67	0,85	0,99	0,77	0,77	0,77	TiO2	0,3	0,38	0,7	0,75	0,6	0,71
Al2O3	13,78	14,1	12,86	16,6	17,69	16,5	18,5	17,49	18,2	17,1	18,86	20,15	20,41	Al2O3	14,6	14,5	19,65	20,66	18,79	9,9
Fe2O3t	2,72	3,01	2,63	7,06	8,03	4,39	7,6	5,8	7,04	6,68	6,49	7,87	10,09	Fe2O3t	3,69	3,11	6,26	7,67	3,1	4,59
MgO	1,99	1,38	2,29	2,29	2,42	2,49	2,59	2,41	2,48	2,54	1,11	1,55	1,25	MgO	1,59	1,29	1,01	1,26	0,95	0,21
CaO	1,58	0,64	0,85	1,75	0,82	0,77	0,6	0,85	0,53	0,53	0,73	0,63	0,49	CaO	2,64	2,63	0,66	0,41	0,35	0,05
Na2O	0,97	0,78	0,74	0,21	0,23	0,23	0,3	0,36	0,33	0,36	0,24	0,16	0,21	Na2O	2,92	2,95	0,32	0,28	0,36	2,2
K2O	5,29	5,76	5,6	5,99	6	7	6,77	5,89	6,7	6,59	6,53	6,9	7,18	K2O	4,37	3,8	6,48	7,32	7,74	4,76
P2O5	0,146	0,16	0,128	0,33	0,414	0,35	0,32	0,351	0,32	0,34	0,4	0,279	0,139	P2O5	0,4	0,4	0,092	0,135	0,142	0,123
LOI	6	3,03	4,19	4,34	4,96	4,33	5,07	4,96	4,81	4,48	4,92	4,39	3,83	LOI	0,74	0,86	6,46	3,21	2,88	1,12
Total	99,316	100,08	100,408	100,71	101,014	100,58	100,24	100,261	100,56	100,41	99,53	101,229	100,999	Total	100,25	100,32	100,222	101,215	101,682	100,263
															-0,4					
Rb	176	195	180	313	273	255	358	274	338	340	276	284	261	Rb	168	179	396	411	388	156
Sr	320	314	316	196	243	368	212	208	259	348	1045	901	545	Sr	495	562	298	403	380	199
Ba	1223	1176	1240	567	554	1104	529	620	545	698	653	615	619	Ba	673	887	553	532	671	516
Th	9,1	8,5	8,2	9,2	11,5	10,8	15,7	10,6	25,6	14,2	19,9	12,5	16,7	Th	4,5	5,7	42	43	22,5	38
U	2,2	2,1	2,1	3,4	2,7	2,7	4,6	4,6	4,1	4,1	4,6	4,3	4,3	U	1,4	1,4	2,1	2,2	2,1	2,1
Zr	145	119	160	172	218	176	242	206	215	208	156	180	166	Zr	125	92	3384	393	195	140
Hf	5,9	3,1	5	5,4	7,1	5,5	7,6	8,3	6,1	8,7	5,9	9,2	7,9	Hf	3,7	4,4	11,8	13,8	4	3,6
Ta	0,38	0,52	0,37	0,75	0,81	0,79	1	0,77	0,87	1,5	0,87	0,96	1,2	Ta	0,66	0,67	1,8	2,6	1,1	0,95
Nb	7,3	8,2	8,7	10,2	11,2	9,5	12,5	10,9	15	15	10,6	12,3	12,4	Nb	10	0,9	26,7	24,2	16,5	13,9
La	28,8	15,8	13,6	30,8	46,9	39,4	48,1	34,6	50,6	38,5	58,4	33,1	28,7	La	22,9	23,3	88,3	94,6	50,9	61,1
Ce	54,3	28,7	26,4	67	88,7	81,4	91,3	68,2	109	77,7	117,4	67,4	59,7	Ce	42,6	44,1	177	194	108	114
Nd	22,3	12,4	12,6	34,2	38,6	38	42,5	31,4	48,6	38,2	60	31,9	31,1	Nd	16,4	17,3	83	89	39,4	41,5
Sm	4,54	2,72	2,59	6,93	8,45	7,89	9,09	7,46	9,74	9	11,1	8,04	7,13	Sm	3,24	3,13	12,3	15,7	7,36	7,13
Eu	1,07	0,63	0,69	1,07	1,48	1,38	1,27	1,26	1,47	1,52	1,81	1,81	1,54	Eu	0,97	1,11	1,42	1,82	0,94	0,77
Tb	0,5	0,31	0,33	0,65	0,84	0,83	0,83	0,93	0,88	0,79	1	1,18	0,96	Tb	0,45	0,44	1,2	1,66	0,78	0,65
Yb	1,43	0,9	1,16	2,1	2,47	2,17	2,91	3,19	2,6	2,51	2,25	2,7	1,95	Yb	1,13	1	3,33	4,47	2,3	1,92
Lu	0,215	0,15	0,177	0,32	0,378	0,335	0,43	0,455	0,4	0,367	0,31	0,39	0,28	Lu	0,17	0,139	0,472	0,659	0,32	0,281
Y	15,9	14	17,2	22	27,3	26,4	37	29,5	29	25	27,4	33,7	34,1	Y	6,8	4,2	12,9	14,4	7,4	3,9
Sc	6,2	3,8	5,7	13,8	13,6	18,1	14,3	15,7	16,2	15	15	14,4	13,2	Sc	50	41,2	53,9	63,1	24,6	48
Cr	54,5	37	42,7	97	103	69,6	117	94,8	107	93	69,5	66,6	61,4	Cr	9,2	7,7	11,7	13,5	5,3	2,5
Co	9,4	6,1	9,4	17	19,7	17	24,4	21	21,2	19,3	13,3	9,4	7,8	Co						
CIA	58,3	63	60,1	64,3	70,5	66	69,4	69,5	69,5	68,4	70,6	71	70,2	CIA	50,5	51,3	69,7	70,1	67	52,8
														CIAW	60,3	60,1	92,9	95,9	95,5	72,7

Tabla A.4. Geoquímica de roca total para muestras de cataclasitas y pseudotaquilitas de Magloughlin (1992).

Domain	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MgO	MnO	CaO	Na2O	K2O	
Cataclasite matrix										
mean	55,07	1,03	21,98	9,34	5,34	0,04	1,67	1,39	4,14	
sd	7,49	0,26	3,52	1,54	1,2	0,04	0,7	1,05	1,44	
Glass										
mean	54,85	1,28	22,03	8,76	5,01	0,03	0,66	0,45	6,93	
sd	1,64	0,05	0,64	0,52	0,41	0,04	0,05	0,04	0,24	
Dark pseudotachylyte										
mean	53,35	1,22	22,76	10,34	5,81	0,07	0,92	0,04	5,09	
sd	6,26	0,16	3,07	1,48	0,96	0,06	0,32	0,54	1,05	
Darkhalos										
mean	54,68	1,23	23,03	5,99	3,34	0,06	4,57	6,88	0,21	
sd	1,72	0,1	0,5	1,93	1,1	0,05	0,59	0,36	0,09	
Opaque blebs										
mean	57,07	1,15	21,75	5,86	3,45	0,03	4,1	6,44	0,14	
sd	5,78	0,16	2,74	1,72	0,67	0,03	0,33	1,06	0,12	
Host plagioclase										
mean	61,89	0	24,19	0,08	0,03	0	4,97	8,74	0,1	
Host schist										
mean	71,3	0,77	14,8	5,39	3,03	555	1,07	1,63	2,14	
sd	0,37	0,06	0,08	0,09	0,01	0,00064	0,01	0,01	0,02	

Tabla A.5. Geoquímica de roca total para muestras de rocas de falla de Goddard y Evans (1995).

Rock type Sample	Protolith EFP-YR	Damaged zone				Vein		Gouge/gouge				Protolith		Protocataclite				Vein		Cataclites			Ultracat.		Protocat.	
		EF2A-dam	EF2-dam	EF4A-dam	EFJE4-dam	EF2-vein	EF2-88	EF14a-88	EF2c-91	EFJE-2	EF4B	WR7-91	WRRe-92	WR6-91	WR13-91	WR8a-91	WR5-91	WR16-91	WR4-91	WR19-91	WRIS-91	WRIO-91	WR8b-91	WR14b-91	WRf-92	WRi-91
SiO2	72,7	73,3	70,9	74,3	71,1	96,6	79	77,4	78,6	75,3	75,6	68,5	70,3	63,2	65,2	66,9	67,7	65,3	54,3	56,6	59,3	58,3	59,1	58,6	57,6	67,6
TiO2	0,164	0,231	0,224	0,234	0,166	0,018	0,115	0,186	0,156	0,19	0,179	0,366	0,274	0,162	0,529	0,112	0,174	0,394	0,172	0,225	0,746	0,529	0,433	0,602	0,728	0,283
Al2O3	14,1	13,2	13	13,1	13,7	1,5	10,7	12,1	10,2	12,4	12,4	16,2	14,5	16,7	15,6	15,8	14,5	15,4	19,2	19	16,3	16,2	16,3	15,1	14,9	14,5
Fe2O3	1,14	1,29	1,73	1,61	3,2	0,03	0,65	1,36	1,3	1,96	1,17	3,59	1,72	3,08	3,13	1,66	1,41	2,58	1,52	1,79	6,64	4,8	4,8	5,56	5,4	2,41
MnO	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,03	0,02	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,02
MgO	0,28	0,2	0,78	0,44	0,28	0,08	0,21	0,44	0,2	0,45	0,14	0,7	0,66	0,24	1,78	0,22	0,44	0,97	0,75	0,91	2,34	1,77	1,42	2,12	2,49	0,66
CaO	1,47	0,63	1,7	0,7	1,68	0,21	0,39	0,76	0,4	0,51	0,27	4,22	1,44	1,05	2,42	0,91	1,89	2,57	8,98	8,02	6,37	3,91	2,76	4,45	4,65	1,24
Na2O	3,51	3,54	2,92	3,17	3,31	0,28	1,19	3,61	2,13	0,82	2,75	4,65	3,36	1,97	3,23	2,02	1,9	2,75	1,86	0,95	4,29	1,95	2	1,97	2,38	2,2
K2O	3,93	4,91	4,58	4,5	3,87	0,71	5,59	0,34	4,01	3,66	4,82	1,36	5,64	10,3	5,17	9,12	6,98	4,99	1,74	2,57	1,58	5,19	6,93	3,07	3,01	7,29
P2O5	0,05	0,05	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,18	0,12	0,21	0,17	0,11	0,07	0,13	0,07	0,08	0,29	0,31	0,33	0,28	0,3	0,1
LOI	1,45	1,2	3,7	1,62	1,75	0,47	1,15	3,8	1,35	3,5	1,39	0,77	1,3	0,77	1,55	0,9	3,7	3,5	10,9	10	2,45	5,08	3,7	7,95	8,05	1,75
Rb	90	107	100	104	96	31	163	31	91	106	89	50	99	149	96	142	132	96	32	59	31	103	126	81	76	168
Sr	230	146	233	226	258	110	79	125	83	200	107	462	396	476	417	403	362	297	280	286	1130	351	370	599	425	170
Y	<10	<10	<10	<10	27	<10	<10	<10	10	13	<10	16	19	38	15	<10	<10	<10	<10	<10	63	39	36	38	53	<10
Zr	155	164	189	199	226	<10	59	111	116	133	144	194	130	29	59	12	82	214	19	119	233	136	119	179	224	245
Cr	<10	<10	57	54	<10	<10	<10	18	<10	<10	<10	24	<10	<10	12	<10	<10	<10	<10	12	47	51	17	24	54	<10
Nb	21	19	25	<10	19	19	28	24	<10	20	15	16	14	15	21	29	31	22	13	1,5	19	<10	25	34	28	19
Ba	1590	1690	1640	1650	1120	432	1700	159	1380	1210	1650	461	2770	5660	2710	4540	3360	2280	392	634	429	2410	3340	1200	1430	1320

Tabla A.6. Geoquímica de roca total para muestras de lava de Aguirre (1988).

Río Grande, Perú	Altered		Precursor			Altered	
Distance from bottom (m)	15		3	8	30	39	40
Sample	A61022	A61023	A61024	A61025	A61026	A61027	
SiO ₂	52,6100	54,1800	56,1200	54,2800	53,9400	52,0200	
TiO ₂	0,8800	0,8400	0,8900	0,8600	0,8200	0,7600	
Al ₂ O ₃	16,2400	16,2100	16,9000	16,3800	16,0400	15,0000	
Fe ₂ O ₃	6,6700	4,4900	6,5800	4,8000	6,3800	7,5200	
FeO	0,9100	3,0200	1,7100	3,0500	1,0600	0,6000	
MnO	0,1800	0,2200	0,1100	0,1100	0,0900	0,0800	
MgO	4,6700	4,5500	3,6800	4,5900	3,1000	2,6100	
CaO	2,9600	5,1100	6,8700	3,7800	2,4100	4,3100	
Na ₂ O	5,6700	3,2300	3,5400	4,6100	6,8700	6,5900	
K ₂ O	3,2100	3,3100	2,7800	4,0500	3,2000	2,6500	
P ₂ O ₅	0,32	0,33	0,32	0,31	0,2900	0,2800	
CO ₂	0,60	0,06	0,04	0,05	0,47	1,78	
H ₂ O _M	3,31	2,58	1,38	2,46	2,76	2,87	
H ₂ O _m	0,41	0,19	0,41	0,16	0,46	0,48	
OV	0,52	0,02	0,26	0,34	1,44	2,32	
Ba	1393	885	704	1219	959	548	
Cl	3068	710	1766	1353	17740	8978	
Co	33	29	40	30	111	11	
Cr	36	33	38	27	30	32	
Cu	265	281	457	350	508	506	
Ga	17	17	17	16	14	13	
Ni	14	15	13	13	3	5	
Nb	10	8	8	9	9	8	
Pb	18	17	18	18	20	15	
Rb	64	94	110	147	96	77	
Sr	290	350	393	424	265	180	
S	191	27	-1	-1	191	21	
Ta	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
Th	15	17	14	19	16	13	
U	1	4	4	3	3	2	
V	232	171	187	183	148	139	
Y	31	31	30	31	29	28	
Zn	185	165	140	118	107	88	
Zr	208	212	217	214	204	190	
La	27,6	24,1	24,6	23,1	23,4	24,2	
Ce	54,3	48,8	49,4	48,2	49,4	46,5	
Pr	6,6	6,3	6,8	6,3	5,7	5,3	
Nd	25,0	24,1	24,5	23,5	21,8	21,8	
Sm	5,5	5,0	5,2	5,1	4,8	4,5	
Eu	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	
Tb	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	
Dy	4,9	4,9	4,9	4,8	5,0	4,3	
Ho	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	
Yb	2,7	2,8	2,9	2,8	2,5	2,3	
Lu	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	

Tabla A.7. Geoquímica de roca total para muestras de Pelitas Metamorfizadas de Agua (1991)

Sample	Shale and sla	sd	n	Greenschist	sd	n	Amphibolite	sd	n
SiO ₂	60,34	0,379	105	58,33	0,76	85	56,25	0,436	161
TiO ₂	0,76	0,021	101	0,9	0,024	80	1,05	0,019	161
Al ₂ O ₃	17,05	0,229	105	18,63	0,376	85	20,18	0,261	161
Fe ₂ O _{3t}	7,37	0,199	105	8,06	0,295	85	9,31	0,153	161
MgO	2,69	0,105	105	3,01	0,154	85	3,23	0,088	161
MnO	0,09	0,008	73	0,29	0,075	79	0,18	0,015	160
CaO	1,45	0,144	104	1,5	0,146	85	1,54	0,089	161
Na ₂ O	1,55	0,1	105	1,59	0,094	85	1,8	0,062	161
K ₂ O	3,64	0,109	105	3,98	0,15	85	4,02	0,092	161
P ₂ O ₅	0,14	0,009	87	0,18	0,028	77	0,19	0,008	156
H ₂ O _t	4,25	0,144	102	2,94	0,196	34	3,02	0,094	106
CO ₂	1,05	0,173	71	0,32	0,108	14	0,18	0,044	40
LOI	5,54	0,559	15	4,18	0,371	50	1,56	0,125	55
Volatiles**	4,8	0,21	104	3,7	0,24	82	2,5	0,09	161
Fe ³⁺ /Fe ²⁺	0,66	0,07	85	0,42	0,05	34	0,33	0,03	106
Total	100,38			99,73			100,95		

Tabla A.8. Geoquímica de roca total para muestras de basaltos almohadillados metamorfizados de Malviya et al (2006).

Rock Type No	Metabasaltic pillow																	Basaltic Komatiite				
	MBPL MAU-1	MBPL MAU-1107	MBPL MAU-1308	MBPL MAU-0507	MBPL MAU-1008	MBPL MAU-0808	MBPL MAU-0908	MBPL BG-0308	MBPL MAU-1408	MBPL MAU-1307	MBPL MAU-0308	MBPL MAU-0807	MBPL MAU-0407	MBPL MAU-0607	MBPL MAU-0207	MBPL MAU-0408	MBPL MAU-0108	BK MAU-1108	BK BG-0708	BK BG-1108	BK BG-0908	BK MAV-1007
SiO2	51,9	53,51	51,89	52,49	52,09	54,4	54,88	55,93	53,94	53,62	53,54	55,16	53,15	53,41	53,16	53,06	54,41	51,9	55,78	57,23	57,13	53,16
TiO2	0,7	0,68	0,65	0,7	0,73	0,65	0,69	0,66	0,66	0,69	0,69	0,67	0,7	0,68	0,72	0,65	0,65	0,34	0,58	0,59	0,58	0,54
Al2O3	13,23	13,6	12,56	14,05	14,72	13,26	13,79	12,65	13,2	13,64	13,63	13,4	13,62	13,39	13,82	12,73	13,22	7,59	10,98	12,03	11,45	11
Fe2O3	10,87	9,75	10,42	9,72	9,4	9,33	8,44	9,66	9,45	10,09	9,65	9,4	10,2	9,41	9,74	9,84	9,08	10,51	9,19	8,23	8,63	8,37
MnO	0,17	0,16	0,19	0,16	0,16	0,15	0,13	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,15	0,89	0,31	0,27	0,28	0,36
MgO	9,37	8,22	9,16	8,34	8,04	7,89	7,84	8	8,06	8,01	8,2	8,09	8,04	7,95	8,15	8,61	7,68	15,96	11,23	9,95	10,71	7,38
CaO	10,29	10,98	13,14	11,6	12,16	11,47	12,54	10,43	12,66	11,3	11,28	10,06	11	12,03	11,51	13,55	12,89	11,78	7,99	8,3	7,7	16,31
Na2O	2,79	2,85	1,83	2,69	2,22	2,36	1,5	2,29	1,89	2,45	2,68	3,67	2,51	2,54	2,54	0,89	2,02	0,37	2,82	2,92	2,94	1,82
K2O	0,1	0,11	0,36	0,09	0,31	0,13	0,05	0,3	0,27	0,11	0,19	0,07	0,09	0,07	0,17	0,1	0,08	0,48	1,01	0,39	0,89	0,66
P2O5	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07
Total	99,47	99,92	100,24	99,9	99,88	99,69	99,93	100,16	100,36	100,13	100,09	100,73	99,55	99,7	100,03	99,66	100,23	99,86	99,97	99,97	100,37	99,67
Mg#	65,49	64,93	65,93	65,38	65,31	65,05	67,16	64,58	65,25	63,6	65,16	65,45	63,44	65,03	64,81	65,82	65,06	76,97	72,9	72,67	73,19	66
Ba	44,49	96,71	86,85	26,37	71,07	43,22	47,98	58,28	71,32	56,78	58,98	23,02	121,38	24,75	47,96	36,89	40,12	62,8	127,63	49,91	96,03	141,41
Co	36,53	38	37,8	38,09	38,17	37,14	33,98	35,47	35,57	38,32	37,67	35,94	38,47	36,46	37,35	35,86	33,78	35,88	36,99	33,8	34,88	42,96
Cr	373,73	462,55	403,48	441,56	413,87	424,78	437,72	418,9	425,29	438,57	459,85	431,77	449,39	479,76	477,44	499,31	473,54	640,67	940,19	798,57	926,43	2514,82
Cu	111,7	69,32	36,34	111,43	117,66	105,47	56,15	108,52	76,92	88,18	105,96	66,84	74,01	81,4	88,3	118,09	96,62	45,14	36,04	21,3	15,3	5,66
Ni	99,46	95,2	95,35	104,82	100,54	91,64	99,82	93,8	98,09	95,34	98,23	91	104,54	105,54	94,77	109,48	89,14	155,6	253,3	204	234,9	486,9
Rb	3,5	4,9	19,33	3,7	16,81	8,24	3,43	15,4	15,96	6,21	9,63	3,23	3,95	8,4	8,17	4,12	33,6	79	26,3	72,5	35,6	
Sr	62,84	96,07	80,13	80,45	126,46	92,55	96,32	70,7	93,87	105,71	98,14	101,16	110,71	75,33	100,72	108,6	91,95	77,8	157,7	199,1	180,2	122,6
V	313,2	369,33	351,15	389,76	399,61	357,33	366,77	376,8	343,45	358,65	362,09	370,84	380,57	367,25	382,38	338,22	338,01	129,1	210,4	210,6	195,4	215,6
Y	22,08	25,28	24,84	25,67	27,19	25,09	25,12	24,6	26	25,32	24,33	25,39	26,08	26,55	25,76	23,69	23,54	24,2	29,5	26,8	28,2	24,9
Zn	73,75	66,37	73,43	66,54	68,05	56,45	52,14	65,4	69,49	67,48	60,55	64,61	62,35	61,36	57,48	58,37	56,93	158,5	52,1	48	47,5	328
Zr	56,16	54,95	52,74	57,1	58	52,61	56,27	53,5	53,1	56,25	55,5	54,17	55,13	55,47	57,43	52,29	52,75	61,2	107,3	107,9	105,1	84,3
La	3,46	3,86	3,39	3,81	3,49	3,76	3,85	1,9										9,74	13,4	33,8	15,4	12,4
Ce	7,69	8,16	7,46	8,34	7,61	8,35	8,18	5,61										19,5	26,2	59	27,8	22,6
Pr	1,01	1,05	0,96	1,09	0,94	1,07	1,02	0,79										2,35	3,27	6,11	3,45	2,74
Nd	4,89	5,33	4,89	5,21	4,73	5,27	5,2	4,32										9,07	12,1	19,3	11,9	10,3
Sm	1,55	1,66	1,56	1,75	1,59	1,7	1,63	1,35										2,13	2,76	3,39	2,7	2,39
Eu	0,59	0,61	0,52	0,72	0,66	0,63	0,69	0,46										0,76	0,65	0,62	0,69	1,19
Gd	2,26	2,31	2,11	2,41	2,21	2,38	2,24	2,23										2,4	2,94	2,69	3	2,67
Tb	0,44	0,44	0,42	0,46	0,43	0,47	0,43	0,42										0,4	0,47	0,47	0,48	0,44
Dy	2,88	2,93	2,82	3,04	2,81	3,04	2,84	2,82										2,46	2,83	2,8	2,86	2,72
Ho	0,63	0,63	0,61	0,66	0,59	0,65	0,61	0,61										0,51	0,63	0,62	0,61	0,59
Er	1,9	1,91	1,86	1,99	1,79	1,99	1,87	1,93										1,51	1,86	1,97	1,79	1,81
Tm	0,27	0,28	0,28	0,29	0,247	0,29	0,27	0,29										0,21	0,27	0,29	0,26	0,26
Yb	1,7	1,74	1,7	1,82	1,7	1,86	1,67	1,77										1,27	1,6	1,79	1,57	1,65
Lu	0,25	0,26	0,25	0,28	0,25	0,27	0,25	0,26										0,2	0,24	0,26	0,22	0,24
Nb	1,95	1,9	2,25	2,1	2,17	1,69	1,88	2										3,3	5,1	11,7	4,8	3,9
Hf	1,46	1,41	1,27	1,45	1,38	1,39	1,4	1,3										1,4	2,4	3,7	2,2	2
Ta	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,1	0,12										0,29	0,4	1,5	0,37	0,35
Tl	0,09	0	0,23	0	0,08	0,14	0	0										0,07	0,29	0	0,33	0,08
Pb	0	0	0	0	0	0	0	0										0	0	0	0	0
Cs	0,3	0,11	0,79	0	1,06	0,92	0,12	0,2										0,8	0,8	0,4	1	1
Th	1,18	1,19	1,1	1,23	1,12	1,25	1,18	1,07										3,14	5,34	13,5	5,12	4,14
U	0,29	0,28	0,27	0,3	0,27	0,29	0,27	0,2										0,53	0,89	2,28	0,86	1,04

Tabla A.9. Geoquímica de roca total para muestras de alteración hidrotermal de Alderton et al (1980).

Alteration Type	K-silicate		Sericitic		Turmalinization		Cloritization				Argillic alteration			Other samples	
	Precursor	Altered	Precursor	Altered	Precursor	Altered	Precursor	Altered	Precursor	Altered	Precursor	Altered	Altered	K-silicate tou Granite	
SampleCode	PE36	DD126	HAX5	HAX3	PE33	DD7930	PE69	PE67	PE33	DD7938	PE53	PE47	PE41	Tour	BH6
SiO2	70,92	71,84	71,91	72,99	71,73	69,66	70,95	65,23	71,73	55,27	73,58	71,08	69,55	62,57	73,49
Al2O3	15,36	14,02	14,69	13,87	14,55	6,37	15,78	12,02	14,55	7,85	14,44	17,56	19,08	17,7	14,12
Fe2O3	0,99	1,98	0,81	1,18	1,38	3,35	1,21	0,92	1,38	9,32	1,33	1,07	0,76	1,64	0,68
FeO	0,75	0,42	1,47	2	0,72		0,62	5,04	0,72	2,56	0,38	0,48	0,28	2,62	1,17
MnO	0,04	0,02	0,05	0,16	0,03		0,05	0,19	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
MgO	0,44	0,4	0,41	0,73	0,46	0,37	0,43	0,67	0,46	0,26	0,15	0,11	0,11	0,76	0,29
CaO	0,88	0,47	0,73	0,45	0,69	0,69	0,7	5,01	0,69	15,19	0,52	0,05	0,05	0,87	0,58
Na2O	2,83	0,32	2,73	0,57	2,52	0,01	3,03	1,98	2,52	0,35	0,9	0,14	0,14	0,78	2,27
K2O	5,72	8,11	5,19	4,48	5,5	0,01	5,4	3,6	5,5	0,08	6,63	3,36	3,36	8,42	5,41
TiO2	0,18	0,19	0,3	0,3	0,25	0,05	0,22	0,2	0,25	0,16	0	0,1	0,1	0,25	0,17
P2O5	0,23	0,21	0,25	0,25	0,23	0,08	0,24	0,23	0,23	0,14	0,3	0,04	0,04	0,33	0,21
H2O	0,77	1,36	1,09	1,26	0,94	0,7	1,06	2,12	0,94	2,18	1,27	4,4	4,41	0,85	0,96
Li	103	40	130	959	74	22	-1	-1	74	37	46	86	-1	32	156
Rb	212	780	675	1160	488	3	-1	-1	488	20	662	70	-1	262	241
Sr	96	60	54	20	96	48	-1	-1	96	90	39	112	-1	62	44
Zr	63	60	100	86	80	14	109	90	80	20	27	65	55	73	95
Hf	3,2	2,7	4,1	4,1	3,12	0,58	2,75	2,49	3,12	1,2	1,33	2,4	1,95	3,9	3
Ta	2,3	1,5	1,9	1,3	1,55	0,38	2,8	2,5	1,55	0,8	-1	4,3	38	3,3	-1
Th	21,2	16,3	26,5	25	19,6	3,8	18,2	14,7	19,6	7,4	7,3	9,6	6	26,2	1,9
Co	-1	-1	2,9	-1	2,8	2,8	51,78	65,86	2,8	-1	0,6	1,22	0,1	-1	2,4
Pb	24	10	25	5	19	-1	-1	-1	19	8	5	12	-1	14	32
Sc	3,98	3,2	5,2	5,06	4,1	1,4	3,42	3	4,1	2,23	2,8	0,87	3,78	-1	4
La	39,2	21,1	43,8	47,1	33,8	7,4	35,81	30,41	33,8	37,6	21,5	17,7	7,11	31,3	31,5
Ce	72	49,5	100	94,6	70,3	16,85	70,6	59,7	70,3	63,6	47,7	31	11,08	57,4	67,8
Nd	32,9	17,4	46,8	39	33,5	17,43	30,8	26,6	33,5	24,4	22,3	14,7	5,98	26,1	29
Sm	6,9	3,8	9,4	7,3	7,4	1,7	6,5	5,76	7,4	4,2	5,5	0,8	1,42	5,4	5,7
Eu	0,75	0,77	1	0,3	0,76	0,34	0,72	0,66	0,76	0,66	0,55	0,58	0,19	0,83	0,74
Gd	-1	-1	8	-1	-1	1,8	-1	-1	-1	-1	3,5	-1	-1	-1	9
Tb	0,6	0,45	0,83	0,65	0,55	0,13	0,59	0,59	0,55	0,57	0,4	0,53	0,2	0,49	0,6
Tm	-1	0,12	0,25	0,15	0,2	-1	-1	-1	0,2	0,2	-1	0,04	-1	-1	-1
Yb	1,22	0,86	1,12	1,1	1,05	0,35	0,95	1,32	1,05	1,68	0,65	0,58	0,53	1,03	0,75
Lu	-1	-1	-1	-1	0,11	-1	-1	0,16	0,11	0,11	-1	-1	-1	-1	-1
Densidad	2,63	2,45	2,65	2,64	2,63	2,7	2,56	2,67	2,63	2,65	2,62	2,55	-1	2,67	2,65

Tabla A.10. Geoquímica de roca total para muestras de alteración de fondo oceánico Bach et al (2001).

Sample	F1	A1-1	A1-2	F2	A2	F3	A3	F4	A4	F5	A5	F6	A6	F7	A7	F8	A8
depth	521.23	520.98	520.88	532.88	532.99	592.89	592.83	597.42	597.60	599.56	599.35	770.78	770.69	814.17	813.94	823.32	823.3
SiO2	46.37	42.31	38.16	51.67	50.19	50.98	51.43	53.10	49.79	51.26	50.39	51.20	50.68	49.12	47.56	50.84	49.72
TiO2	0.24	0.22	0.20	0.42	0.46	0.37	0.54	0.66	0.59	0.49	0.36	0.41	0.35	0.56	0.47	0.62	0.54
Al2O3	20.32	22.20	20.57	18.08	15.65	20.88	14.02	21.18	13.76	15.65	17.42	20.66	19.97	14.46	15.79	15.18	17.14
FeO	5.07	1.20	0.86	3.25	3.76	2.66	3.93	3.06	4.11	4.94	3.59	2.95	2.81	4.69	6.17	6.57	3.69
Fe2O3	1.62	4.61	4.50	1.68	2.69	1.88	1.60	0.42	2.78	0.58	1.89	1.15	1.45	2.07	0.56	0.94	2.45
MnO	0.11	0.09	0.08	0.11	0.14	0.08	0.14	0.08	0.16	0.12	0.11	0.08	0.10	0.15	0.14	0.16	0.13
MgO	11.77	4.22	3.55	6.97	7.85	4.98	9.16	4.21	8.97	9.45	8.45	5.78	6.69	9.66	9.97	9.33	8.21
CaO	11.15	15.67	20.26	13.25	14.14	12.77	15.87	12.01	14.91	14.01	12.31	13.43	13.77	14.40	12.32	12.87	12.83
Na2O	2.38	2.82	2.46	3.55	3.10	3.45	2.39	4.08	2.52	2.68	3.16	3.53	3.28	2.52	2.70	2.83	3.17
K2O	0.05	0.20	0.09	0.06	0.07	0.08	0.08	0.10	0.09	0.13	0.10	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05
P2O5	0.01	0.10	0.20	0.01	0.05	0.04	0.02	0.05	0.01	0.02	0.05	0.04	0.02	0.05	0.03	0.04	0.06
H2O	1.03	2.45	1.81	0.77	1.32	0.84	0.76	0.49	1.28	0.90	1.97	0.81	1.08	1.52	2.29	0.57	1.70
CO2	0.30	3.96	8.10	0.33	1.08	0.16	0.35	0.09	0.45	0.11	0.74	0.10	0.35	0.15	0.60	0.08	0.15
S	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.04	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	0.18	1.18	0.10	0.24
Total	100.45	100.07	100.87	100.14	100.52	99.18	100.28	99.57	99.44	100.37	100.57	100.21	100.60	99.58	99.84	100.18	100.07
L.O.I.	0.98	6.19	9.40	1.07	1.60	0.91	0.95	0.41	1.51	0.77	2.62	0.77	1.27	1.35	2.90	0.14	1.68
FeOtotal	6.53	5.35	4.91	4.76	6.18	4.36	5.37	3.44	6.62	5.47	5.29	3.98	4.11	6.56	6.67	7.42	5.89
Mg#	78.12	60.96	58.90	74.37	71.55	69.36	77.16	70.80	72.87	77.40	75.98	74.19	76.30	74.48	74.74	71.36	73.38
Fe31/Fetotal	0.224	0.776	0.825	0.317	0.392	0.389	0.268	0.110	0.379	0.096	0.322	0.259	0.317	0.285	0.076	0.114	0.374
Li	3.56	5.41	2.95	3.54	2.44	8.35	7.50	2.74	11.76	4.69	7.32	3.38	4.58	4.66	6.28	3.18	4.14
Be	0.15	0.18	0.14	0.25	0.23	0.16	0.13	0.45	0.19	0.12	0.21	0.18	0.12	0.22	0.29	0.20	0.24
Sc	9.7	14.4	8.8	34.3	45.5	25.9	57.7	26.4	58.2	53.3	33.3	30.3	32.2	56.0	39.2	42.2	42.6
V	48	64	60	127	173	107	213	109	225	168	124	118	122	200	151	169	162
Cr	67	66	82	37	53	86	209	69	128	130	88	80	87	232	191	51	63
Co	50.2	42.2	41.5	30.7	36.8	37.2	48.1	18.0	34.0	34.5	32.3	24.8	27.2	35.3	37.0	42.6	37.0
Ni	309.2	184.5	167.3	52.5	69.7	70.4	86.9	45.7	74.3	68.8	62.7	54.9	61.5	67.2	70.9	64.2	70.2
Cu	49.9	48.3	37.8	30.6	41.1	57.5	68.3	52.0	66.3	37.1	55.8	17.9	30.3	58.7	70.9	55.9	36.8
Zn	35.5	31.5	29.4	24.8	32.4	38.2	49.4	25.3	42.7	32.7	29.0	21.6	22.3	37.1	33.4	44.9	34.1
Ga	11.5	12.5	11.7	14.1	13.1	14.6	11.3	17.1	12.0	11.6	12.5	15.0	14.2	11.8	12.3	12.9	13.7
Rb	0.20	3.23	0.72	0.31	0.41	0.90	0.77	0.27	0.39	0.80	0.41	0.30	0.22	0.26	0.24	0.13	0.23
Sr1	166,5	196	237,9	193,3	154,4	209,7	136,1	217	136	151,3	159,2	198,4	185,3	127,9	139,6	155,3	156
Sr2	165,2	193,4	233,1	191,3	151,8	205,1	133,3	133,3	131,3	147,3	156,2	191,9	180,2	123,3	134,8	151,1	152,5
Sr	165,85	194,7	235,5	192,3	153,1	207,4	134,7	175,15	133,65	149,3	157,7	195,15	182,75	125,6	137,2	153,2	154,25
Y	4.1	4.9	3.8	14.5	16.1	9.2	14.9	13.6	16.9	11.2	10.2	9.3	8.0	18.0	13.7	15.0	11.8
Zr	7.7	7.3	6.2	40.9	34.5	20.4	20.1	26.4	26.2	18.4	15.5	17.6	11.7	30.8	40.9	33.1	28.1
Nb	0.093	0.124	0.100	0.564	0.269	0.295	0.191	1.080	0.236	0.243	0.221	0.282	0.144	0.294	0.514	0.389	0.384
Cs	0.008	0.268	0.051	0.010	0.019	0.042	0.015	0.034	0.012	0.008	0.005	0.024	0.001	0.006	0.001	0.001	0.001
Ba1	2.5	4.78	4.07	5.86	3.49	3.27	3.03	5.89	3.68	4.48	3.35	3.54	2.99	2.96	2.58	2.99	2.79
Ba2	2.39	4.85	4.07	6	3.51	3.83	3.37	3.37	3.8	5.63	3.5	4.14	4.26	2.85	2.76	2.97	2.87
Ba	2.445	4.815	4.07	5.93	3.5	3.55	3.2	4.63	3.74	5.055	3.425	3.84	3.625	2.905	2.67	2.98	2.83
La	0.52	0.71	0.56	1.70	1.21	0.86	0.74	2.27	0.95	0.72	0.96	0.98	0.57	1.08	1.51	1.11	0.97
Ce	1.55	1.86	1.39	5.37	4.27	2.72	2.73	6.51	3.28	2.42	2.93	2.65	1.78	3.97	4.82	3.88	3.17
Pr	0.27	0.33	0.25	0.96	0.84	0.50	0.58	1.05	0.68	0.47	0.52	0.48	0.34	0.80	0.86	0.75	0.59
Nd	1.45	1.70	1.31	4.99	4.65	2.69	3.50	4.99	4.11	2.77	2.79	2.60	1.93	4.68	4.37	4.25	3.28
Sm	0.49	0.54	0.43	1.69	1.78	0.98	1.48	1.59	1.74	1.10	1.05	0.97	0.75	1.89	1.53	1.62	1.24
Eu	0.45	0.48	0.44	0.68	0.80	0.63	0.68	0.90	0.82	0.61	0.64	0.64	0.57	0.83	0.67	0.80	0.67
Tb	0.11	0.13	0.10	0.39	0.44	0.24	0.40	0.36	0.45	0.30	0.27	0.25	0.21	0.50	0.37	0.41	0.32
Gd	0.67	0.74	0.59	2.29	2.49	1.39	2.23	2.03	2.55	1.70	1.51	1.43	1.18	2.78	2.11	2.33	1.82
Dy	0.76	0.85	0.66	2.64	3.02	1.67	2.75	2.47	3.16	2.10	1.85	1.72	1.46	3.45	2.54	2.83	2.22
Ho	0.16	0.19	0.14	0.56	0.65	0.35	0.58	0.53	0.67	0.45	0.39	0.37	0.31	0.73	0.54	0.60	0.47
Er	0.45	0.53	0.40	1.57	1.79	1.00	1.62	1.51	1.86	1.23	1.11	1.03	0.86	2.04	1.54	1.69	1.31
Tm	0.07	0.08	0.06	0.23	0.27	0.15	0.24	0.23	0.27	0.18	0.17	0.15	0.13	0.31	0.23	0.26	0.20
Yb	0.44	0.51	0.38	1.45	1.65	0.90	1.44	1.42	1.69	1.12	1.05	0.94	0.77	1.87	1.40	1.55	1.21
Lu	0.07	0.08	0.06	0.22	0.24	0.14	0.21	0.22	0.25	0.16	0.16	0.14	0.11	0.28	0.21	0.24	0.18
Hf	0.253	0.258	0.199	1.104	1.023	0.603	0.714	0.880	0.876	0.633	0.538	0.536	0.375	1.023	1.102	0.988	0.803
Ta	0.010	0.011	0.015	0.563	0.033	0.047	0.017	0.083	0.417	0.023	0.022	0.025	0.013	0.028	0.039	0.032	0.041
Pb	0.218	0.400	0.310	0.348	0.308	0.310	0.352	0.613	0.312	0.587	0.369	0.224	0.193	0.558	1348	0.299	0.892
Th	0.008	0.012	0.007	0.042	0.022	0.022	0.017	0.085	0.019	0.020	0.040	0.022	0.010	0.030	0.046	0.023	0.035
U	0.038	0.433	0.385	0.029	0.244	0.166	0.103	0.034	0.226	0.014	0.218	0.014	0.015	0.010	0.019	0.009	0.014
d18O	6.77		8.15					6.5	6.02							5.97	6.58
87Sr/86Sr	0.703011	0.703766	0.704808	0.702989	0.703372	0.702865	0.703005	0.702833	0.702956	0.702861	0.702968	0.702790	0.702844	0.702842	0.702848	0.702822	0.702811

Tabla A.10. Continuación.

Sample depth	F9	A9		F10		A10		F11		A11		F12	A12-1		A12-2		F13	A13		F14		A14		F15		A15		F16		A16		F17		A17		F18		A18	
		973.36	973.23	1133.02	1133.63	1139.05	1138.75	1183.61	1183.73	1183.81	1207.41		1207.57	1235.75	1235.92	1316.00		1316.39	1327.95	1328.23	1476.27	1475.96	1493.27	1493.67															
SiO2	50.80	49.86	50.84	51.89	49.18	51.00	49.66	49.79	49.88	48.72	48.56	50.76	49.44	51.04	49.88	50.24	50.67	49.79	50.29	48.20	48.89																		
TiO2	0.39	0.40	0.41	0.24	0.44	0.42	0.81	0.56	0.46	0.27	0.36	0.41	0.37	0.28	0.28	0.46	0.39	0.45	0.34	0.26	0.26																		
Al2O3	14.88	15.10	15.19	21.50	14.15	17.59	16.31	18.42	16.92	16.70	15.36	15.92	17.79	16.45	15.03	14.46	16.72	11.82	18.32	16.50	14.79																		
FeO	6.57	4.82	n.d.	2.12	6.54	3.08	5.21	n.d.	2.99	5.64	3.79	4.79	3.21	4.32	3.78	5.22	3.60	5.59	3.24	4.95	5.19																		
Fe2O3	1.23	2.33	n.d.	1.61	1.17	1.44	1.75	n.d.	1.99	1.00	2.59	1.15	2.23	0.99	2.46	1.41	2.04	1.33	1.57	1.37	1.09																		
MnO	0.16	0.15	0.13	0.07	0.16	0.11	0.14	0.09	0.11	0.12	0.12	0.12	0.10	0.11	0.12	0.14	0.11	0.15	0.10	0.11	0.11																		
MgO	10.16	9.75	10.09	5.18	11.64	7.38	9.33	6.72	7.80	11.03	9.87	10.18	8.58	9.85	10.62	11.25	7.81	14.57	8.22	11.68	11.59																		
CaO	12.13	12.87	13.79	11.77	13.10	14.23	12.92	11.76	13.43	11.90	11.92	12.95	11.16	13.17	12.91	13.36	12.20	14.40	13.45	11.76	12.18																		
Na2O	2.73	2.67	2.55	3.69	2.45	3.06	2.75	4.00	3.17	2.70	3.15	2.69	3.28	2.60	2.39	2.69	3.16	1.75	2.87	2.39	2.47																		
K2O	0.04	0.04	0.04	0.22	0.03	0.04	0.04	0.22	0.18	0.02	0.02	0.03	0.10	0.01	0.03	0.04	0.04	0.00	0.08	0.03	0.08																		
P2O5	0.03	0.01	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03	0.03	0.02	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00																		
H2O	0.42	1.63	0.71	1.62	0.50	0.89	0.85	2.82	2.29	0.57	3.61	0.82	3.43	0.52	2.40	0.51	2.09	0.61	1.36	1.78	2.58																		
CO2	0.06	0.11	0.08	0.28	0.09	0.11	0.08	0.23	0.76	0.08	0.19	0.08	0.18	0.09	0.23	0.09	0.16	0.10	0.16	0.07	0.13																		
S	0.07	0.06	0.06	0.08	0.07	0.04	0.08	0.45	0.17	0.04	0.24	0.13	0.15	0.06	0.15	0.06	0.29	0.04	0.15	0.06	0.05																		
Total	99.67	99.81	100.59	100.29	99.55	99.39	99.95	99.88	100.17	98.81	99.78	100.05	100.06	99.48	100.27	99.94	99.29	100.61	100.15	99.19	99.41																		
LOI	0.06	1.73	0.64	2.03	0.20	1.22	0.73	2.93	3.31	0.38	3.45	0.54	3.12	0.31	1.90	0.26	2.03	0.40	1.40	1.39	2.38																		
FeOtotal	7.68	6.92	6.66	3.57	7.59	4.38	6.78	4.78	4.78	6.54	6.12	5.83	5.21	5.21	5.99	6.49	5.43	6.79	4.65	6.18	6.17																		
Mg#	72.39	73.62	75.01	74.18	75.22	76.96	73.15	73.58	76.36	76.97	76.15	77.58	76.52	78.92	77.82	77.44	74.00	80.95	77.76	78.91	78.81																		
Fe31/Fetotal	0.144	0.303	n.d.	0.406	0.139	0.296	0.232	n.d.	0.375	0.137	0.381	0.178	0.384	0.171	0.369	0.196	0.338	0.177	0.304	0.199	0.159																		
Li	2.46	4.88	3.45	5.18	3.76	4.53	6.26	6.62	8.15	3.88	28.64	5.15	38.00	3.95	6.34	3.18	3.77	3.75	9.78	1.18	1.62																		
Be	0.10	0.09	0.11	0.17	0.12	0.13	0.23	0.24	0.22	0.12	0.11	0.15	0.14	0.08	0.06	0.13	0.23	0.08	0.12	0.08	0.17																		
Sc	38.6	48.4	44.7	19.9	43.2	41.8	39.2	39.8	40.7	26.9	38.6	37.4	26.8	35.4	40.1	45.0	36.6	51.2	33.9	30.4	34.4																		
V	157	170	164	71	166	161	159	138	152	106	133	140	102	123	137	173	131	192	126	104	119																		
Cr	24	29	82	33	66	64	154	131	143	170	205	135	92	157	193	104	79	325	209	185	233																		
Co	55.0	48.5	41.7	26.2	51.6	28.2	40.0	29.4	27.3	50.4	43.3	42.2	40.1	39.4	47.3	44.9	35.6	53.1	35.1	49.4	46.1																		
Ni	75.4	70.7	79.2	47.5	90.2	49.4	95.7	73.9	66.3	117.9	106.7	116.2	107.4	95.5	120.3	95.2	77.9	130.4	99.1	136.1	133.1																		
Cu	68.2	69.1	80.4	36.1	67.2	63.5	67.0	46.5	41.6	41.2	60.4	115.2	86.3	68.4	96.7	67.3	47.1	43.9	78.6	90.9	31.5																		
Zn	39.2	33.6	33.3	21.4	38.6	24.4	43.2	30.3	27.5	36.3	31.5	31.5	30.0	30.0	29.2	35.9	33.4	37.5	25.3	31.5	25.7																		
Ga	13.0	12.9	11.9	15.0	11.8	14.2	13.4	12.7	12.6	11.7	11.6	12.1	12.1	11.8	11.4	11.9	13.9	8.8	12.0	11.2	10.8																		
Rb	0.07	0.15	0.13	0.82	0.10	0.12	0.14	0.93	0.79	0.08	0.41	0.23	0.75	0.08	0.22	0.15	0.20	0.06	0.31	0.15	0.24																		
Sr1	160.1	150.3	146.3	212.9	142	177.6	164.3	169.8	175.4	167.4	139.5	158.2	167.9	167.1	143.6	148.8	171.6	107.4	176.7	151	142.3																		
Sr2	153.4	143.8	142.8	209.9	139.3	174.5	158	166.8	172.3	160.5	134.6	150.9	161.4	155.5	135.1	148.9	160	105.8	175.3	148.6	141.6																		
Sr	156.75	147.05	144.55	211.4	140.65	176.05	161.15	168.3	173.85	163.95	137.05	154.55	164.65	161.3	139.35	148.85	165.8	106.6	176	149.8	141.95																		
Y	9.1	9.6	9.7	4.9	11.2	10.4	13.1	11.9	13.3	6.6	8.7	10.7	7.6	6.7	7.1	11.8	12.2	10.9	8.6	6.0	7.0																		
Zr	11.6	9.5	13.2	7.5	16.9	12.6	26.4	25.0	25.2	11.1	17.8	34.5	33.3	6.8	5.6	27.6	24.1	16.0	15.0	7.6	6.5																		
Nb	0.102	0.058	0.125	0.116	0.127	0.109	0.443	0.333	0.198	0.105	0.207	0.522	0.609	0.046	0.034	0.169	0.154	0.135	0.136	0.078	0.134																		
Cs	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008	0.001	0.002	0.056	0.003	0.042	0.001	0.013	0.003	0.013	20001	0.000	0.001	0.001																		
Ba1	2.18	2.08	2.68	8.67	2.2	2.96	3.13	4.62	5.45	2.02	1.63	3.8	11.57	1.84	1.77	2.2	3.28	1.16	4.28	1.68	2.5																		
Ba2	2.63	12.08	2.8	9.23	13.68	3.02	3.28	4.59	5.31	1.9	1.36	4.09	12.57	1.44	1.66	3.06	3	1.24	4.24	1.65	2.13																		
Ba	2.405	7.08	2.74	8.95	7.94	2.99	3.205	4.605	5.38	1.96	1.495	3.945	12.07	1.64	1.715	2.63	3.14	1.2	4.26	1.665	2.315																		
La	0.45	0.38	0.49	0.58	0.58	0.54	0.87	1.01	1.00	0.52	0.98	1.13	1.02	0.35	0.26	0.90	1.09	0.45	0.61	0.37	1.02																		
Ce	1.67	1.45	1.85	1.66	2.19	1.90	3.10	3.35	3.37	1.74	2.23	3.69	3.09	1.16	1.00	3.24	3.62	1.82	2.07	1.26	2.45																		
Pr	0.34	0.32	0.38	0.28	0.45	0.39	0.61	0.62	0.64	0.32	0.42	0.65	0.51	0.24	0.22	0.61	0.67	0.39	0.39	0.25	0.47																		
Nd	2.08	1.98	2.27	1.49	2.69	2.32	3.43	3.39	3.58	1.83	2.29	3.37	2.54	1.46	1.42	3.40	3.63	2.39	2.22	1.46	2.41																		
Sm	0.91	0.92	0.99	0.52	1.13	1.01	1.40	1.29	1.38	0.70	0.90	1.18	0.83	0.64	0.66	1.31	1.35	1.06	0.88	0.59	0.82																		
Eu	0.57	0.60	0.58	0.55	0.59	0.63	0.77	0.72	0.75	0.50	0.54	0.59	0.59	0.47	0.45	0.61	0.72	0.50	0.53	0.43	0.44																		
Tb	0.25	0.26	0.27	0.13	0.31	0.28	0.37	0.33	0.37	0.18	0.24	0.30	0.21	0.19	0.20	0.33	0.34	0.31	0.24	0.16	0.20																		
Gd	1.36	1.41	1.48	0.73	1.68	1.54	1.99	1.83	1.99	1.01	1.32	1.64	1.18	1.00	1.03	1.85	1.90	1.64	1.29	0.91	1.12																		
Dy	1.72	1.81	1.83	0.89	2.09	1.91	2.50	2.23	2.45	1.22	1.63	2.02	1.41	1.27	1.34	2.24	2.26	2.05	1.62	1.13	1.35																		
Ho	0.37	0.39	0.39	0.19	0.45	0.41	0.53	0.48	0.52	0.27	0.35	0.43	0.30	0.27	0.29	0.48	0.49	0.44	0.35	0.24	0.29																		
Er	1.02	1.08	1.10	0.53	1.26	1.15	1.49	1.34	1.47	0.75	0.97	1.21	0.84	0.74	0.78	1.33	1.38	1.24	0.96	0.67	0.81																		
Tm	0.15	0.16	0.16	0.08	0.19	0.17	0.22	0.20	0.22	0.11	0.15	0.18	0.12	0.11	0.12	0.19	0.20	0.18	0.14	0.10	0.12																		
Yb	0.94	0.98	1.01	0.49	1.16	1.04	1.38	1.26	1.36	0.67	0.91	1.13	0.80	0.69	0.73	1.22	1.27	1.11	0.87	0.61	0.77																		
Lu	0.14	0.15	0.15	0.07	0.17	0.15	0.21	0.19	0.20	0.10	0.14	0.17	0.12	0.10	0.11	0.18	0.19	0.17	0.13	0.09	0.11																		
Hf	0.419	0.393	0.469	0.245	0.567	0.467	0.820	0.781	0.818	0.337	0.538	0.921	0.729	0.275	0.256	0.815	0.774	0.556	0.468	0.278	0.249																		
Ta	0.022	0.007	0.010	0.010	0.011	0.013	0.036	0.028	0.024	0.014	0.015	0.073	0.067	0.004	0.003	0.023	0.013	0.013	0.012	0.005	0.013																		
Pb	0.159	0.185	0.313	0.258	0.184	0.179	0.277	0.363	0.317	0.498	0.175	0.306	0.303	0.198	0.201	0.189	0.338	0.111	0.295	0.107	0.271																		
Th	0.006	0.005	0.010	0.010	0.012	0.011	0																																

Tabla A.11. Geoquímica de roca total para muestras de bentonitas de Christidis (1998)

Prassa Riolite										Zoulias Andesite						
Sample	SM285	SM283	SM282	SM281	SM280	SM279	SM278	SM277	SM261	Sample	SM188	SM193	SM201	SM202	SM203	SM204
SiO2	72,51	71,78	76,23	63,61	61,39	61,67	60,82	64,47	67,74	SiO2	59,41	60,6	59,2	58,9	59,85	59,99
TiO2	0,09	0,1	0,11	0,18	0,16	0,18	0,17	0,15	0,13	TiO2	1,05	1,12	1,18	1,15	1,17	1,21
Al2O3	12,06	13,21	11,66	19,6	20,47	21,96	20,67	19,06	16,79	Al2O3	20	19,68	20,26	20,71	21,15	21,53
Fe2O3	0,56	0,72	1,17	1,85	1,91	1,71	2,18	1,63	1,19	Fe2O3	4,3	4,07	4,88	4,79	3,13	3,1
MnO	0,01	0,02	0	0	0	0	0,01	0	0,02	MnO	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
MgO	0,27	1,33	2,79	4,53	5,09	4,9	5,28	3,41	1,99	MgO	2,89	1,03	1,05	0,71	0,4	1,28
CaO	0,51	0,61	0,7	1,07	1,1	1,11	1,06	1,08	1,14	CaO	1,69	4,46	3,39	5,24	5,31	4,08
Na2O	3,51	3	0,39	0,49	0,75	0,7	0,88	1,17	1,94	Na2O	1,5	3,23	2,46	3,55	3,73	3,15
K2O	4,19	2,82	0,12	0,12	0,21	0,13	0,33	1,69	2,3	K2O	1,52	2,54	2,23	2,07	2,36	2,23
P2O5	0,001	0,02	0,02	0,03	0,02	0	0	0	0	P2O5	0,17	0,15	0,31	0,24	0,25	0,25
LOI										LOI	5,8	3,46	4,12	3,05	2,6	3,62
La	29,41	34,67	36,54	41,48	36,75	35,95	43,8	41,83	39,7	V	244,8	305,8	301,7	280,3	334,5	302,2
Ce	47,47	57,18	54,8	67,25	61,14	61,22	69,46	68,93	61,26	Cr	48,6	67,3	67,5	66,4	70,8	72,4
Nd	15,39	18,21	18,5	23,95	19,84	22,93	25,5	20,48	18,6	Ni	30,1	20,6	26,4	13,8	19,5	15,5
Sm	2,18	2,93	3,02	3,11	2,29	2,74	0	2,83	3,21	Zn	81,3	20,7	66,2	119,8	187,9	125,9
Eu	0,3	0,48	0,42	0,49	0,31	0,47	0	0,42	0,39	Rb	34,8	99,7	63,4	41,9	67,3	52,9
Dy	2,76	3,41	3,01	3,84	2,63	3,41	0	3,63	2,9	Sr	174,6	291,4	195,1	295,3	326,7	230,6
Er	2,05	2,8	1,97	2,33	1,03	2,17	1	1,92	1,84	Y	62,7	43,6	51,4	28,8	50,2	27,3
Yb	2,3	2,81	1,74	1,99	1,26	2,05	0	1,87	1,75	Zr	211,1	234,2	244,8	219,8	247,7	236,7
Lu	0,35	0,43	0,25	0,29	0,18	0,33	0	0,28	0,25	Nb	11,3	9,7	10,7	11,7	12,3	11,3
Y	19,8	22,6	15,2	18	11,2	18,2	31,2	18,5	16,5	Ba	6859,3	664,2	550,6	554,6	651,3	507,3
Zn	70,2	106,5	203,3	217,4	257,3	283,8	647,8	363,4	343,2	La	27,12	22,13	21,67	23,81	21,98	24,09
Ni	4,4	5,7	3,2	5,3	6,7	4,9	6,1	4,5	4,9	Ce	38,9	46,18	46,62	49,11	45,63	50,2
Ba	981,7	255	23,5	1422,6	1246	918,9	2994,5	1830,2	79,7	Nd	19,6	28,65	26,77	25,94	24,2	27,17
Cr	20,8	4	22,4	4,8	6,2	5,9	5,1	2,5	6,3	Eu	1,42	2,57	1,84	1,62	1,87	1,64
V	4,2	5,9	0	4,7	0	6,1	6,7	4,6	2,8	Dy	11,17	7,64	8	5,59	8,15	5,69
Sr	172,6	163	56,1	105,6	113	104,9	179,5	130,7	97,2	Er	4,98	4,43	4,22	3,23	4,95	3,41
Zr	78,3	86,9	88,1	135,6	131,7	148,2	139,7	123,4	94,6	Yb	2,05	4,22	4,02	2,88	4,91	2,75
Th	21,2	23,5	25,7	38,3	41	42,9	41,6	35,7	33,3	Lu	0,11	0,61	0,55	0,4	0,69	0,38
Rb	259,3	297	5,9	9,8	12,9	4,8	20	59	116,5	Th	6,2	10,9	11,1	13,5	13,4	10
Nb	12,9	15	12,9	21,6	19,7	24	26,7	17,5	14,8							

Tabla A.12. Geoquímica de roca total para muestras de alteración sódica de Oliver et al (2004).

Sample	94b	94d	S404	S253.3	219	147i	KN105	KN6B	EHD1	EHD4	42767	42741	EL079	EL116	J1L	J1M	
Location	Pelite Marra	Alb-Pelite Marra	Pelite SnkCK	Alb-Pelite SnkCK	Calc-sil MA	Alb-Calc-sil MA	Calc-sil Knobby	Alb-Calc-sil Knobby	Diorite EHM	Alb-Diorite EHM	Qtz Monz MA	Alb-qtz Monz MA	Amphib Eloise	Alb-Amphib Eloise	Diorite EHM	Bt-alb-Diorite EHM	
SiO2		75,57	73,51	56,1	65,3	63,21	59,53	46,91	55,9	62,18	58,8	66,5	68,41	55,71	60,79	57,5	51,3
TiO2		0,51	0,4	0,64	0,7	0,57	0,62	0,39	0,46	0,9	0,85	0,57	0,63	1,08	1,04	1,12	1,28
Al2O3		11,91	11,36	21,7	19,5	15,37	14,25	11,5	14,24	15,78	18,37	14,96	15,69	15,9	15,72	18	17,4
Fe2O3(tot)		4,36	2,4	8,29	0,47	5,85	5,66	6,11	2,74	6,18	6,25	3,81	1,99	11,85	4,5	8,69	11,93
MnO		0,05	0,02	0,05	0,01	0,06	0,07	0,23	0,12	0,03	0,07	0,02	0,03	0,19	0,21	0,03	0,06
MgO		1,01	2,47	2,22	0,28	2,9	3,87	2,05	4,48	1,83	1,79	0,95	0,77	3,67	1,46	2,28	5,26
CaO		0,42	2,24	0,35	0,65	5,58	6,55	15,5	10,13	4,08	2,65	2,02	2,47	3,97	5,47	1,19	0,78
Na2O		1,4	6,55	0,53	10,69	1,21	4,38	5	7,07	5,24	8,93	4,83	8,94	3,63	7,37	8,72	5,3
K2O		3,2	0,11	6,52	0,38	5,11	2,84	1,18	0,51	2,64	0,59	4,79	0,17	2,77	0,31	1,01	4,38
P2O5		0,11	0,2	0,21	0,19	0,14	0,22	0,12	0,2	0,19	0,25	0,17	0,17	0,13	0,14	0	0
Cl		na	na	na	na	0,02	0,01	0,08	0,15	0,29	0,05	0,06	0,05	na	na	0,03	0,06
LOI		2,1	0,63	2,72	0,28	2,51	0,16	10,18	4,01	0,96	1,12	0,88	b,d	0,9	3,45	1,23	2,03
Total		100,64	99,89	99,5	98,5	102,53	98,17	99,37	100,07	100,3	99,72	99,6	99,27	99,86	100,45	99,8	99,8
Ba		na	na	875	44	na	na	320	63	489	139	1375	233	632	43	193	909
Rb		156	4	327	13	192	116	58	38	54	21	323	4	127	14	49	266
Sr		36	20	33	52	80	80	79	60	136	130	139	132	99	51	104	224
Pb		na	na	6	6	3	2	na	na	4	4	17	17	bd	bd	3	bd
Zr		211	212	131	162	200	209	106	97	174	207	343	550	139	186	163	192
Nb		na	na	21	18	na	na	na	na	16	12	31	39	10	13	13	14
Y		26	24	24	16	29	22	20	60	34	26	31	57	30	28	26	17
La		na	na	na	na	na	na	na	na	41	53	104	99	na	na	31	29,6
Ce		na	na	na	na	na	na	92	103	88	82	261	195	na	na	65,8	62,6
Sc		na	na	20	9	na	na	17	21	13	18	6	5	22	22	4	4
V		na	na	106	32	na	na	62	20	66	62	47	27	268	162	157	225
Cr		na	na	101	92	65	57	26	64	8	12	156	12	46	41	bd	19
Co		na	na	17	21	28	9	20	31	13	10	7	27	42	18	7,31	16,7
Ni		na	na	34	4	24	24	23	7	5	11	8	6	38	14	24	48
Cu		na	na	7	8	10	15	5	5	20	23	13	10	79	76	10	5
Zn		na	na	49	5	7	0	5	7	58	26	20	24	33	19	15	25
Ga		na	na	34	21	19	18	16	15	21	27	9	13	21	22	26	31
Co		na	na	17	21	28	9	20	31	13	10	7	27	42	18	7,31	16,7
Ni		na	na	34	4	24	24	23	7	5	11	8	6	38	14	24	48
Cu		na	na	7	8	10	15	5	5	20	23	13	10	79	76	10	5
Zn		na	na	49	5	7	0	5	7	58	26	20	24	33	19	15	25
Ga		na	na	34	21	19	18	16	15	21	27	9	13	21	22	26	31
100Na/(Na+K)		30,4	98,3	7,5	96,6	19,1	60,7	80,9	93,3	66,5	93,8	50,2	98,1	56,7	96	89,6	54,8
100(Na+Ca)/(Na+Ca+K)		36,3	98,8	11,9	96,8	57	79,4	94,6	97,1	77,9	95,2	58,9	98,5	73,3	97,6	90,8	58,1
100Na/(Na+Fe)		24,3	73,2	6	95,8	17,1	43,6	45	72,1	45,9	58,8	55,9	81,8	23,4	62,1	50,1	30,8

Tabla A.13. Geoquímica de roca total para muestras de alteración por vetillas carbonatadas de Mori et al (2008).

Sample	Tranverse A												Tranverse B						
	604 -400	604 -401	604 -402	604 -403	604 -404	604 -405	604 -406	604 -407	604 -408	604 -409	604 -410	604 -411	713 -100	713 -101	713 -102	713 -103	713 -104	713 -105	713 -106
Alter.	Vein	4	4	4	4	2-3	1-2	1	1	UA	UA	UA	Vein	4	2-3	1	UA	UA	UA
Dist. (cm)	0	1	4	8	15	21,5	28,5	35	41	47,5	52	57	0,5	5,5	8	12	20	30	UA
SiO2	3,35	45,62	45,33	45,22	44,48	44,3	45,71	43,16	43,49	46,38	46,27	46,7	7,52	50,92	51,15	45,71	46,05	46,66	47,33
TiO2	0,12	1,3	1,3	1,29	1,25	1,28	1,34	1,39	1,33	1,29	1,28	1,29	0,3	1,36	1,37	1,3	1,18	1,14	1,2
Al2O3	3,53	14,74	14,97	14,63	14,14	13,99	14,63	14,84	14,66	14,26	14,25	14,4	8,02	15,21	15,43	14,65	13,72	13,31	13,79
Fe2O3(tot)	2,4	8,2	9,25	9,37	8,54	10,93	10,95	12,15	11,19	11,1	10,99	11,05	8,5	7,95	8,95	12,26	10,29	10,11	10,49
MnO	0,35	0,15	0,15	0,18	0,19	0,17	0,13	0,15	0,16	0,16	0,18	0,16	0,64	0,16	0,15	0,16	0,18	0,18	0,18
MgO	2,64	3,89	4,37	4,64	4,74	5,54	5,1	5,41	4,84	5,33	5,26	5,26	7,12	3,16	3,29	5,59	5,47	5,72	5,86
CaO	41,49	8,29	7,33	7,46	8,24	8,01	7,44	8,44	11,24	11,66	12,42	12,34	23,13	6,56	6,47	7,8	13,28	13,56	12,72
Na2O	0,45	2,09	1,76	1,41	1,42	2,03	2,44	2,65	2,59	2,93	3,04	2,83	1,04	2,71	2,53	2,46	2,43	2,6	2,45
K2O	0,74	3,12	2,91	3,15	3,16	2,05	1,82	1,42	0,98	0,4	0,46	0,62	1,56	3,06	2,97	1,34	0,68	0,65	0,74
H2O	0,51	2,18	2,65	2,99	2,72	3,71	3,96	4,61	3,69	3,2	2,98	2,83	1,24	2,5	2,96	4,62	2,88	2,54	2,74
CO2	42,77	10,96	10,15	9,97	10,99	8,13	5,72	5,72	5,75	3,74	3,26	2,86	39,58	8,43	6,85	5,2	4,43	4,21	3,59
Total	98,33	100,56	100,17	100,29	99,87	100,14	99,24	99,92	99,92	100,44	100,38	100,33	98,64	102,01	102,11	101,08	100,59	100,68	101,07
Sc	n.a.	39	39	38	37	38	39	41	42	42	41	43	n.a.	48	49	46	45	43	45
V	n.a.	305	306	300	287	294	309	312	323	322	327	331	n.a.	347	339	334	325	314	327
Cr	n.a.	282	298	286	265	288	306	305	319	310	316	314	n.a.	382	373	358	349	329	350
Ni	n.a.	42	53	59	47	67	73	66	67	67	67	67	n.a.	69	87	84	70	66	71
Cu	n.a.	75	78	67	63	63	56	59	75	86	70	75	n.a.	93	88	86	71	74	65
Zn	n.a.	72	89	75	59	95	105	113	104	98	100	101	n.a.	70	165	110	94	87	136
Sr	n.a.	214	180	167	168	116	118	147	230	178	164	169	n.a.	240	217	254	224	187	199
Y	n.a.	17	16	25	31	26	19	20	29	28	29	29	n.a.	33	36	32	31	29	31
Ba	n.a.	140	106	67	65	71	52	63	85	74	66	100	n.a.	132	110	109	59	58	76
Density	2,75	2,78	2,77	2,77	2,76	2,74	2,72	2,8	2,86	2,97	2,94	2,94	2,88	2,76	2,76	2,83	2,98	2,97	2,91

Tabla A.14.1. Geoquímica de roca total para promedios de muestras de Rocas Magmáticas de Cornejo y Mahood (1997).

Sample (mean)	Lower level central zone	Lower level border zone	Middle level	Middle level border	Upper level	Leucogranit e
n	9	5	9	5	9	3
SiO ₂	65,39	65,12	63,39	61,76	65,52	77,50
TiO ₂	0,57	0,58	0,68	0,79	0,62	0,15
Al ₂ O ₃	16,40	16,32	16,82	16,48	16,24	13,03
Fe ₂ O ₃	4,01	4,54	4,88	6,30	4,42	0,28
MnO	0,06	0,07	0,05	0,09	0,06	0,02
MgO	1,95	1,82	2,04	2,56	1,40	0,01
CaO	4,18	3,67	4,10	4,13	2,99	1,05
Na ₂ O	4,48	4,09	4,60	4,19	4,30	2,58
K ₂ O	2,76	3,63	3,24	3,53	4,30	5,33
P ₂ O ₅	0,15	0,15	0,18	0,21	0,16	0,02
Y	13,19	13,50	16,14	21,70	23,36	7,83
Ni	12,25	10,17	11,43	15,40	8,14	0,67
Ba	573,44	551,50	538,90	588,00	550,71	498,83
Cr	29,81	24,33	24,19	26,00	16,79	7,50
V	82,94	85,17	85,57	103,60	71,64	6,50
Sr	488,21	481,33	438,52	444,00	403,71	174,50
Zr	135,25	148,83	178,43	204,40	271,57	96,83
Rb	74,88	88,83	85,43	93,20	111,43	142,83
Nb	8,44	8,17	9,10	9,10	11,29	10,33

Tabla A.14.2. Geoquímica de roca total para muestras de Rocas Magmáticas de Cornejo y Mahood (1997).

domain sampl	Lower level central zone								Lower level border zone				
	llcz llcz006	llcz llcz012	llcz llcz014	llcz llcz019	llcz llcz065	llcz llcz067	llcz llcz265	llcz llcz308	llbz llbz007	llbz llbz072	llbz llbz097	llbz llbz248	llbz llbz256
SiO2	65,7	66,2	68,3	65,1	62,4	63,3	66,1	64,7	65,1	63,2	65	65,4	66,9
TiO2	0,56	0,54	0,44	0,58	0,69	0,6	0,51	0,65	0,59	0,64	0,56	0,54	0,56
Al2O3	16,2	16,4	15,7	16,3	17,2	16,7	16,3	17,1	16,6	17	16,6	16,4	15
Fe2O3	4,28	3,36	3,56	4,65	5,25	5,08	4,02	1,74	4,47	5,09	4,4	4,26	4,46
MnO	0,08	0,04	0,05	0,07	0,09	0,09	0,06	0,06	0,06	0,08	0,07	0,06	0,07
MgO	1,78	1,79	1,48	1,98	2,28	2,37	1,63	2,58	1,83	2,12	1,63	1,6	1,92
CaO	3,78	3,73	3,19	4,16	4,76	4,52	3,5	6,57	3,884	4,29	3,69	3,46	3,05
Na2O	4,07	5,02	3,99	4,23	4,22	4,19	4,25	6,11	4,12	4,43	4,41	4,06	3,41
K2O	3,36	2,51	3,17	2,79	2,88	3	3,46	0,31	3,27	2,86	3,46	4,02	4,53
P2O5	0,14	0,14	0,12	0,16	0,19	0,16	0,13	0,18	0,14	0,15	0,15	0,15	0,14
Y	12	16	7	15	16	19	13	10	18	12	11	14	10
Ni	11	10	11	14	12	18	10	11	13	13	10	7	11
Ba	518	987	538	516	505	514	608	221	533	519	533	598	596
Cr	23	31	28	33	31	36	30	36	27	27	19	20	29
V	90	87	71	88	102	101	70	48	89	101	81	75	88
Sr	511	503	432	536	575	582	443	635	503	600	452	472	398
Zr	150	93	137	120	136	142	154	119	127	158	154	152	135
Rb	112	30	11	86	82	94	94	8	91	93	77	96	97
Nb	10	10	7	10	7	11	8	7	9	9	7	9	7

Tabla A.14.2. Continuación

domain sampl	Middle level central zone										Middle level border zone				
	mlcz mlcz034	mlcz mlcz047	mlcz mlcz054	mlcz mlcz059	mlcz mlcz213	mlcz mlcz224	mlcz mlcz233	mlcz mlcz284	mlcz mlcz285		mlbz mlbz036	mlbz mlbz052	mlbz mlbz060	mlbz mlbz288	mlbz mlbz289
SiO2	65,6	63	66,1	64,1	60	64,4	64,3	61,3	61,7		60,4	66,1	64,3	56,7	61,3
TiO2	0,49	0,68	0,53	0,6	0,85	0,61	0,66	0,86	0,82		0,9	0,52	0,58	1,17	0,77
Al2O3	16,5	16,7	16,4	16,6	17,3	16,4	16,5	17,8	17,2		16,8	16,3	17,2	14,4	17,7
Fe2O3	4,41	4,79	4,13	4,8	5,99	4,69	4,79	4,48	5,87		6,71	4,16	4,36	10,63	5,65
MnO	0,03	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07		0,09	0,05	0,07	0,18	0,06
MgO	1,51	2,01	1,54	2,14	2,7	2,04	1,68	2,49	2,27		2,96	1,55	1,74	4,6	1,93
CaO	3,42	4,11	3,52	4,42	5,11	3,94	3,43	5,17	3,82		4,57	3,54	4,22	4,63	3,69
Na2O	4,26	5,07	4,14	4,52	4,98	4,28	4,31	5,38	4,46		4,23	4,19	4,45	3,41	4,67
K2O	3,67	3,43	3,48	2,66	2,75	3,45	4,12	2,01	3,62		3,18	3,47	2,96	3,94	4,12
P2O5	0,12	0,19	0,13	0,16	0,24	0,16	0,16	0,22	0,21		0,23	0,13	0,14	0,37	0,19
Y	1	22	18	13	22	13	23	17	21		30	14	14	34	17
Ni	10	8	3	8	20	11	11	20	21		17	9	9	38	16
Ba	645	682	399	574	517	486	510	420	543		560	505	525	831	741
Cr	17	17	11	30	34	26	20	28	31		25	25	21	48	26
V	80	104	108	99	132	91	89	114	105		120	70	70	216	102
Sr	493	473	425	519	531	476	373	548	434		452	423	543	307	448
Zr	155	230	238	132	243	153	271	195	240		167	132	158	109	291
Rb	119	34	20	55	52	91	132	40	99		95	88	78	96	104
Nb	10	10	9	8	12	8	11	12	9		10	8	7	10	7

Tabla A.14.2. Continuación

Upper level

domain sampl	ul ul00111	ul ul00113	ul ul00116	ul ul00119	ul ul00120	ul ul00210	ul ul00217	ul ul00218	ul ul00221
SiO2	66,4	66,5	65,6	65,7	65,4	65,7	64,9	62,5	67
TiO2	0,57	0,55	0,58	0,61	0,6	0,65	0,68	0,81	0,55
Al2O3	16,1	16,1	16,4	16	16,4	16,4	16,3	16,5	16
Fe2O3	4,36	4,41	4,43	4,57	4,07	3,21	4,75	6,05	3,93
MnO	0,09	0,06	0,05	0,07	0,09	0,06	0,04	0,05	0,05
MgO	1,26	1,25	1,3	1,52	1,44	1,61	1,31	1,78	1,13
CaO	2,63	2,31	2,56	3,19	3,15	3,91	2,91	3,46	2,76
Na2O	3,91	4,32	4,28	4,12	4,32	5,39	4,1	4,39	3,89
K2O	4,62	4,4	4,74	4,09	4,32	2,9	4,82	4,25	4,57
P2O5	0,14	0,14	0,15	0,15	0,17	0,15	0,18	0,23	0,13
Y	20	28	23	21	24	24	25	26	22
Ni	10	9	9	9	7	6	9	7	11
Ba	563	561	601	550	562	502	533	587	497
Cr	17	16	14	19	15	18	15	14	12
V	66	58	57	77	61	63	76	94	59
Sr	347	317	335	331	331	419	324	369	806
Zr	284	264	273	263	271	308	328	318	299
Rb	167	127	133	119	107	65	133	103	158
Nb	11	15	11	9	9	13	13	14	13

Tabla A.14.2. Continuación

Other samples

domain sampl	me me00263	me me00313	me me00314	me me00315	me me00316	me me00317	me me00319	fbmi fbmi041	fbmi fbmi042	wh wh00070	wh wh00252	wh wh00304	asna asna273	asna asna274	eyp eyp0241	eyp eyp0293
SiO2	55,9	59,6	58,2	58,4	57,9	58,4	59,1	59,4	59,1	57,7	54,1	49,9	60	60	65	70,2
TiO2	0,92	0,79	0,77	0,77	0,84	0,77	1	0,94	1	1,15	1,01	1,46	0,9	0,88	0,53	0,37
Al2O3	16,9	16,9	16,5	16,5	17,8	18,2	16,7	17,7	17,8	17,6	18,2	16,3	17,4	17,4	16,8	15
Fe2O3	7,97	6,64	7,17	7,14	6,93	7,18	9,69	6,4	6,33	9,41	8,83	15,73	8,13	7,82	5,37	3,48
MnO	0,13	0,12	0,15	0,15	0,13	0,12	0,11	0,08	0,07	0,09	0,15	0,07	0,13	0,22	0,03	0,02
MgO	5,24	3,46	4,59	4,47	3,47	2,58	2,02	2,9	3,06	2,12	4,74	4,3	1,85	2,19	1,54	0,82
CaO	7,01	5,86	5,95	5,995	6,22	5,87	3,76	5,41	5,49	4,66	8,03	5,83	4,94	4,2	2,91	1,95
Na2O	4,28	4,8	4,21	4,17	4,83	5,33	4,43	4,83	4,95	4,77	3,88	4,42	4,18	4,91	4,89	3,67
K2O	1,5	1,56	2,24	2,22	1,6	1,3	3,07	2,06	1,89	2,03	0,89	1,8	2,19	1,99	2,66	4,44
P2O5	0,02	0,02	0,19	0,19	0,25	0,29	0,19	0,03	0,33	0,39	0,23	0,26	0,36	0,35	0,24	0,11
Y	15	19	18	16	22	15	13	9	13	28	14	26	24	21	14	8
Ni	59	25	40	55	24	8	12	21	22	1	31	14	1	2	2	2
Ba	361	274	645	390	320	284	478	520	451	426	271	343	532	464	552	516
Cr	144	51	110	148	57	21	39	42	47	12	68	19	10	18	16	7
V	189	138	146	150	141	124	133	146	135	63	222	311	98	87	52	39
Sr	573	466	459	413	590	479	417	1100	923	523	675	461	437	392	398	245
Zr	100	108	122	121	84	117	126	65	69	130	71	115	169	152	145	144
Rb	53	50	66	105	87	38	108	71	60	72	37	84	56	40	72	88
Nb	7	8	7	8	10	9	8	7	3	6	6	7	6	5	8	7

Tabla A.15. Geoquímica de roca total para muestras de Komatiitas de Shore (1996).

Location	PykeHill Area A	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	
Texture	Massive Sill (')	B4	B4	B3	B2	B2	B2	B2	B2	B2	B2	B2	B2	B2	B2	B2	B2	B2	B2	B2
m above base		0,07	0,07	0,23	0,45	0,45	0,7	1	1,6	1,6	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	2,15	2,4	2,4	
Sample	MS93-00	MS93-01	MS93-01a	MS93-02	MS93-03	MS93-03a	MS93-04	MS93-05	MS93-06	MS93-06a	MS93-07ag	MS93-07a	MS93-07b	MS93-07cf	MS93-07ff	MS93-07sw	MS93-08	MS93-09	MS93-09ag	
SiO2	43,81	43,73	43,86	40,87	41,41	40,79	42,41	41	40,87	39,23	41,28	41,73	40,97	41,29	40,93	40,36	41,72	41,8	41,39	
TiO2	0,289	0,366	0,409	0,235	0,207	0,204	0,21	0,198	0,18	0,175	0,193	0,193	0,189	0,212	0,155	0,191	0,215	0,22	0,226	
Al2O3	6,32	5,58	5,5	4,98	4,47	4,35	4,49	4,25	3,9	3,72	4,19	4,23	4,07	4,51	3,43	4,14	4,7	4,81	4,88	
Fe2O3	10,61	10,36	10,7	9,36	9,06	8,95	8,47	9,11	8,55	8,43	8,49	8,57	8,62	8,84	8,32	9,06	9,35	9,49	9,93	
MnO	0,159	0,16	0,169	0,143	0,12	0,118	0,128	0,104	0,1	0,097	0,116	0,112	0,107	0,12	0,097	0,129	0,126	0,131	0,133	
MgO	28,69	30,74	30,11	30,79	33,42	32,87	34,41	33,75	35,11	34,06	34,47	34,71	34,51	33,9	35,36	33,22	32,88	31,29	31,55	
CaO	5,87	5,56	6,09	4,54	3,91	3,86	3,97	3,39	2,66	2,56	2,96	2,97	2,93	3,38	2,29	2,67	3,91	4,24	4,19	
Na2O	0,6	0,38	0,33	0,32	0,29	0,24	0,28	0,34	0,24	0,29	0,28	0,3	0,29	0,36	0,23	0,17	0,45	0,39	0,38	
K2O	0,095	0,123	0,132	0,082	0,048	0,043	0,036	0,05	0,036	0,039	0,064	0,068	0,066	0,077	0,051	0,047	0,063	0,059	0,059	
P2O5	0,0171	0,0266	0,0287	0,0123	0,0122	0,0121	0,0115	0,0119	0,0108	0,01	0,0116	0,0117	0,0106	0,0134	0,01	0,0113	0,0123	0,0133	0,013	
Total	96,46	97,03	97,33	91,33	92,95	91,44	94,42	92,20	91,66	88,61	92,05	92,89	91,76	92,70	90,87	90,00	93,43	92,44	92,75	
V	129	122	125	102	94	95	97	84	81	79	88	81	88	96	70	91	95	96	98	
Cr	2216	1988	1912	1975	1975	1944	2024	1847	1789	1745	1825	1809	1779	1848	1705	1791	1941	1943	1977	
Co	103	105	95	97	102	101	99	102	99	93	95	96	95	91	102	107	107	97	93	
Ni	1466	1718	1631	1710	1875	1827	1938	1918	2025	1995	1947	1986	1986	1875	2089	1952	1841	1794	1859	
Zn	59	65	71	50	50	47	43	47	36	35	49	46	42	47	43	54	46	43	57	
Rb	1,9	0,1	4,5	0,8	0,3	2,1	2,6	3,5	1,9	3,4	1,6	2,2	3,5	1,3	1,4	0,6	3,7	5,2	1,5	
Sr	10	17,6	23,5	7,5	9,4	9	7,9	11,4	10,8	10,8	12,4	11,8	11,2	14,5	9,3	7,8	16,6	12,8	25,4	
Y	7,1	7,6	7,2	6,7	6,1	5,2	5	5,2	4,9	5,1	5,4	5	5,4	5,4	4,3	5,6	5,9	4,4	6,2	
Zr	13,6	22,2	21,3	12,4	10,6	8,3	8	7,2	8,5	6,5	9,5	7,6	6,7	10,6	7,6	10,4	8	5,8	10,3	
Ba	16	38	48	10	11	17	10	22	16	8	17	11	13	7	14	7	18	19	19	

Tabla A.15. Continuación

Location	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	C flow	
Texture	A3	B1	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A2	A2	A2	Top bx flow	Top bx flow
m above base	2,92	2,58	3,37	3,66	3,66	3,96	3,96	4,26	4,55	4,97	4,97	5,17	5,39	5,39	
Sample	MS93-10	MS93-11	MS93-12	MS93-13a	MS93-13b	MS93-14a	MS93-14b	MS93-15	MS93-16	MS93-17aa	MS93-17ab	MS93-17b	MS93-18a	MS93-18b	
SiO2	43,69	43,78	45,06	44,97	45,81	43,38	43,38	44,09	43,07	43,16	43,08	43,98	44,4	42,65	
TiO2	0,324	0,373	0,368	0,36	0,391	0,321	0,326	0,328	0,285	0,301	0,3	0,315	0,276	0,331	
Al2O3	6,95	7,81	7,92	7,84	8,51	6,94	7,06	7,17	6,21	6,56	6,51	6,87	6,1	7,12	
Fe2O3	11,22	9,71	11,87	12,02	12,19	11,36	11,46	11,53	10,51	10,82	10,84	10,97	9,64	10,85	
MnO	0,181	0,166	0,18	0,178	0,184	0,162	0,168	0,169	0,163	0,165	0,162	0,165	0,136	0,158	
MgO	25,43	23,81	23,37	23,52	21,9	25,32	24,89	25,3	28,29	26,73	27,12	26,28	26,11	24,5	
CaO	7,12	8,3	7,63	7,63	8,14	6,59	6,81	6,82	6	6,32	6,2	6,54	6,94	7,64	
Na2O	0,72	0,35	0,93	1,1	1,23	0,78	0,78	0,77	0,63	0,67	0,69	0,71	0,28	0,35	
K2O	0,108	0,035	0,099	0,133	0,168	0,105	0,103	0,143	0,085	0,1	0,106	0,152	0,023	0,041	
P2O5	0,0183	0,0183	0,0208	0,021	0,024	0,018	0,0916	0,0194	0,182	0,0177	0,0181	0,019	0,0178	0,0196	
Total	95,76	94,35	97,45	97,77	98,55	94,98	95,07	96,34	95,43	94,84	95,03	96,00	93,92	93,66	
V	143	157	158	151	172	139	136	145	124	126	129	140	118	150	
Cr	2334	2712	2498	2589	2606	2448	2420	2460	2187	2308	2304	2352	2322	2497	
Co	98	77	99	101	93	100	91	97	97	104	98	102	109	104	
Ni	1227	1016	1036	1051	916	1227	1200	1209	1493	1404	1361	1399	1281	1380	
Zn	71	63	71	66	70	64	64	66	59	62	61	65	54	72	
Rb	5,4	1,5	0	6,1	5,8	4,2	3,2	3,5	6	4,5	3,4	5,3	1,6	2,9	
Sr	30,5	19	44,4	54,2	63,1	38,4	39,8	30	29,9	28,6	29,4	35	8,3	6,7	
Y	8,2	11	9,7	9,1	9,5	7,7	7,9	8,5	6,7	8	7,3	8	7,3	8,3	
Zr	11,4	18,4	21,2	14,1	17,3	13,4	14,5	15,3	9,2	12,6	14,7	13,4	11,8	15,3	
Ba	31	9	17	47	62	30	38	41	40	41	36	27	8	10	

Tabla A.15. Continuación

Location	Pyke Hill Area B	B flow	B flow	B flow	B flow	B flow	B flow	B flow	B flow	B flow	B flow	B flow	A flow	A flow	A flow	A flow	A flow	A flow
Texture	Lava tube	A3	B1	B1	A3	B1	B1	B1	B1	A3	B2	B2	B2	B2	A3	B1	A3	
m above base		0,3	0,25	0,25	0,45	0,3	0,25	0,2	0,2	0,5	0,25	0,2	0,48	0,4				
Sample	MS93-Ltag	MS91-01	MS91-02	MS91-03	MS91-04	MS91-05	MS91-06	MS91-09	MS91-10	MS91-11	MS91-12	MS91-13	MS91-14	MS91-15	ms-08ag	ms-15ag	ms15bag	ms-16ag
SiO2	42,08	43,75	41,9	42,22	43,34	42,29	43,06	44,27	43,95	44,44	42,33	40,59	42	41,21	41,63	43,82	43	42,89
TiO2	0,269	0,312	0,245	0,248	0,291	0,264	0,281	0,325	0,325	0,335	0,26	0,19	0,216	0,2	0,228	0,355	0,313	0,357
Al2O3	5,76	6,72	5,28	5,38	6,29	5,62	6,05	7,05	6,98	7,24	5,55	4,04	4,63	4,3	4,88	7,6	6,69	7,66
Fe2O3	10,9	10,59	10,48	10,86	10,93	11	10,88	11,51	11,43	11,6	10,19	9,29	9,64	9,52	10,06	11,52	10,97	11,69
MnO	0,161	0,159	0,16	0,151	0,156	0,152	0,16	0,174	0,173	0,177	0,143	0,1	0,144	0,136	0,148	0,182	0,19	0,197
MgO	29,51	26,72	29,88	30,46	27,71	29,57	28,28	26,06	25,98	25,48	29,92	34	33,23	34,07	32,15	23,36	25,74	23,21
CaO	4,57	6,28	4,56	4,85	5,86	4,87	5,27	6,69	6,69	7,11	4,76	2,83	4,07	3,42	4,49	7,77	6,65	8,02
Na2O	0,31	0,55	0,46	0,56	0,58	0,51	0,58	0,85	0,78	0,95	0,51	0,32	0,41	0,34	0,37	0,65	0,57	0,41
K2O	0,033	0,113	0,063	0,067	0,11	0,074	0,087	0,11	0,107	0,117	0,068	0,046	0,071	0,063	0,077	0,14	0,089	0,07
P2O5	0,0133	0,0178	0,0146	0,0153	0,0182	0,0155	0,0177	0,0184	0,0194	0,0195	0,016	0,0145	0,0135	0,0131	0,0132	0,0204	0,0187	0,0204
Total	93,61	95,21	93,04	94,81	95,29	94,37	94,67	97,06	96,43	97,47	93,75	91,42	94,42	93,27	94,05	95,42	94,23	94,52
V	120	138	110	115	123	112	119	141	138	147	114	83	96	88	93	154	138	150
Cr	2467	2431	2131	2102	2314	2174	2280	2425	2431	2471	2340	1870	1958	1904	1984	2527	2359	2529
Co	98	97	101	99	100	101	102	106	106	103	97	101	102	103	96	90	91	89
Ni	1501	1329	1719	1642	1415	1561	1492	1265	1269	1225	1608	1963	1875	1946	1800	1095	1391	1051
Zn	52	70	62	61	63	61	62	69	69	71	55	36	53	51	54	89	91	97
Rb	1,9	2,9	0,3	1,3	5,7	4,8	4,1	3,8	3,3	4,2	0,2	1	1,4	1,9	5,7	2,7	2	4,2
Sr	7,9	22	22,5	27,7	20,2	18,4	20,4	32,6	31,8	43,4	16,3	10,1	10,8	9,5	16,8	41,7	38,6	18,9
Y	7,8	8,4	7,2	6,7	7,5	6,2	7,1	8,4	7,4	8,5	7,3	5,4	5,6	5,9	5,5	8,9	8,5	8,7
Zr	12,8	15,1	14,3	12,4	9,6	9,2	11,4	13,8	14,6	13,2	14	8,9	10,3	9,2	6,1	17,7	15	15,6
Ba	21	12	28	31	26	26	36	31	40	31	26	17	13	27	34	35	36	26

Tabla A.15. Continuación

Location	A flow	A flow	A flow	A flow	B flow	Alexo	Alexo	Alexo	Alexo	Alexo	L. Opasitic
Texture	A1	A2	B3	B1	B4	A2	Top bx flow	Top bx flow	A3	A2 gross	Polished flow
m above base											
Sample	ms-20ag	ms-23ag	ms-44ag	ms-60ag	ms-69ag	AX-10	AX-11a	AX-11b	AX-13	AX96-01	PONT-01
SiO2	43,61	43,44	43,17	42,97	43,02	43,06	41,67	43,44	43,17	41,97	42,68
TiO2	0,326	0,344	0,276	0,305	0,34	0,278	0,297	0,304	0,3	0,276	0,291
Al2O3	6,99	7,4	5,99	6,55	7,3	6,01	6,33	6,66	6,19	5,7	6,45
Fe2O3	11,6	11,64	10,93	11,44	10,03	10,6	10,74	10,93	10,19	10,17	10,51
MnO	0,181	0,168	0,165	0,159	0,169	0,165	0,14	0,142	0,168	0,151	0,154
MgO	25,59	23,99	29,37	26,52	24,55	28,57	27,89	29,47	27,51	28,53	27,42
CaO	6,59	7,13	5,56	5,75	7,27	5,59	3,93	4,01	6,58	5,29	5,44
Na2O	0,51	0,49	0,47	0,4	0,28	0,35	0,05	0,06	0,31	0,23	0,26
K2O	0,205	0,094	0,114	0,058	0,235	0,077	0,036	0,038	0,056	0,058	0,012
P2O5	0,0182	0,0197	0,0157	0,017	0,0198	0,0161	0,0155	0,0173	0,0183	0,0178	0,0014
Total	95,62	94,72	96,06	94,17	93,21	94,72	91,10	95,07	94,49	92,39	93,22
V	150	151	123	134	140	122	128	133	119	111	108
Cr	2418	2484	2177	2391	2533	2371	2531	2581	2335	2287	2273
Co	95	91	97	94	85	102	102	99	95	94	104
Ni	1269	1145	1548	1336	960	1523	1433	1454	1485	1554	1599
Zn	75	73	58	62	45	62	60	61	55	59	63
Rb	2,1	4,1	2,9	0,6	13,7	6,7	4,7	4,8	4	2,5	1,1
Sr	22,7	25,9	17,7	22,9	22,4	23,3	12,1	12,4	14,8	19	47,1
Y	8,9	9,2	7,3	6	8,5	6,8	6,8	7,2	7,9	7,6	5,2
Zr	18	16,6	12,1	15,9	12,4	11,7	13,9	14	17,4	16,3	15,4
Ba	22	32	22	20	33	38	22	19	19	25	21

Tabla A.16. Geoquímica de roca total para muestras de Lavas de Smith (1981).

Sample	100076	10077	10079	10074	10075	10080	10037
SiO ₂	58,3	64,85	54,09	53,78	53,58	54,29	66,58
Al ₂ O ₃	14,54	11,76	14,15	14,11	14,1	14,28	9,53
Fe ₂ O ₃	4,6	2,13	1,71	1,19	1,13	1,33	4,9
FeO	0,68	2,19	7,76	8,25	8,43	7,51	0,72
FeOt	4,82	4,11	9,3	9,32	9,45	8,71	5,13
MgO	1,37	1,5	5,37	6,54	6,32	5,18	0,86
CaO	14,83	11,54	6,98	5,15	5,3	6,39	11,94
Na ₂ O	0,05	0,07	2,43	3,13	3,03	2,88	0,12
K ₂ O	0,03	0,03	0,7	1,81	1,81	1,48	0,09
TiO ₂	0,7	0,83	0,9	0,9	0,94	0,89	0,78
P ₂ O ₅	0,124	0,121	0,125	0,126	0,127	0,13	0,099
MnO	0,05	0,05	0,13	0,15	0,16	0,15	0,04
H ₂ O+	3,49	2,77	3,27	3,06	3,16	3,27	2,38
H ₂ O-	0,02	0,16	0,28	0,15	0,11	0,17	0,01
CO ₂	0,3	0,37	0,03	1,42	1,12	0,46	0,93
OV	0,39	0,38	0,89	0,11	0,48	0,29	0,48
Specific Gravity	2,89	2,89	2,84	2,82	2,82	2,84	2,88
LOI	4,2	3,68	4,47	4,74	4,87	4,19	3,8

Tabla A.17. Geoquímica de roca total para muestras de lavas de la Formación Chala de Romeuf (1994)

Fm Chala														
Muestra	CHA050	CHA053	CHA055	CHA056	CHA057	CHA059	CHA124	CHA125	CHA129	CHA138	CHA166	CHA168	CHA170	PE007
SiO2	52,84	50,08	53,38	53,49	53,38	52,59	63,16	57,79	57,19	59,64	55,98	57,37	57,62	55,1
TiO2	1,29	1,25	1,37	1,29	1,3	0,87	1,23	1,34	1,24	0,95	1,9	1,58	1,19	2,05
Al2O3	15,14	15,62	14,85	15,33	15,43	17,91	14,11	15,39	15,17	14,5	13,2	15,66	14,86	14,89
Fe2O3	7,48	9,51	7,66	7,84	8,88	6,99	4,86	7,4	6,53	7,2	11,85	8,01	8,1	10,13
FeO	1,87	0,38	1,87	1,74	0,88	2,5	1,59	1,83	2,67	3,14	0,38	1,03	0,87	0,05
MnO	0,12	0,96	0,12	0,15	0,12	0,11	0,16	0,17	0,25	0,12	0,16	0,16	0,12	0,21
MgO	4,99	6,66	4,99	4,86	5,25	4,47	1,48	2,54	2,74	1,97	3,22	3,95	3,29	3,04
CaO	8,09	2,32	7,49	7,62	8	8,62	2,53	2,19	3,65	0,68	2,61	5,38	4,02	4,16
Na2O	2,81	4,51	2,69	3,08	2,75	2,6	4,72	5,16	4,83	4,06	3,56	0,6	3,53	3,8
K2O	2,11	3,24	2,27	2,18	1,91	1,01	3,65	3,79	3,21	4,36	4,4	3,23	3,89	4,8
P2O5	0,33	0,32	0,35	0,32	0,28	0,18	0,37	0,6	0,3	0,27	0,46	0,38	0,31	0,49
H2OM	1,5	3,72	1,6	1,6	1,37	1,7	1,22	2,2	1,45	2,05	2,15	1,99	1,95	1,3
H2Om	0,8	0,82	0,55	0,42	0,8	0,52	0,12	0,25	0,1	0,1	0,27	0,7	0,45	0,8
Li	67	59	54	38	43	32	22	27	15	21	25	15	18	15
Rb	55	149	73	82	70	22	63	96	121	113	217	139	191	194
Sr	274	187	265	284	290	342	239	233	262	114	190	235	210	205
Ba	489	1368	557	449	469	339	724	901	676	1200	858	749	710	664
Co	26	39	30	26	22	34	7	17	15	13	25	29	16	28
Cu	33	15	34	64	42	26	9	38	7	8	23	58	11	29
Cr	202	237	195	154	184	14	5	7	8	7	9	57	41	17
Ni	69	86	81	49	46	10	6	8	6	6	10	18	15	10
V	280	276	282	290	291	268	77	167	244	182	301	234	201	312
Zn	85	467	82	80	71	73	77	215	125	104	52	61	55	65
Nb	8	9	10	9	5	5	10	9	8	4	13	8	10	4
Zr	150	186	191	170	135	89	265	212	161	175	287	220	218	289
Y	29	37	37	34	31	19	42	39	32	32	56	29	39	34
La	24,2	23,5	25,1	23,9	23	13,5	29	28,4	19,4	23,5	36,4	27	29,2	34
Ce	53,4	54,6	58,3	54,8	50	30,7	66	65,5	44,8	54	81	58	65,8	73
Nd	26,3	245,4	26,9	24,9	26	14	29,8	31,4	20,9	22,7	37,9	30	28,8	39
Sm	6,32	6,13	6,41	6,03	6,2	3,46	6,8	7,39	5,34	5,43	9	7,1	6,84	8,9
Eu	1,42	1,44	1,43	1,4	1,3	1,02	1,51	1,64	1,3	1,17	1,94	1,4	1,44	1,3
Gd	5,64	5,64	5,68	5,38	5,6	2,96	5,47	6,29	5,06	4,94	8,2	6,1	6,16	8,1
Dy	5,85	5,31	6,08	5,58	5,3	3,24	5,81	6,25	5,3	5,2	8,46	6,2	6,7	7,6
Yb	3,21	3,17	3,36	3,06	2,8	1,85	3,73	3,48	3,07	3,12	4,8	3,4	4,2	4,5
Lu	0,51	0,58	0,53	0,49	0	0,3	0,62	0,55	0,5	0,5	0,76	0	0,67	7,6

Anexo B. Tablas de datos dm_i obtenidos a partir de la aplicación del método Isomasas.

En este anexo se mostrarán solo los resultados obtenidos para las muestras consideradas como precursoras para cada caso. En ellas, cada elemento es inicialmente considerado como conservado, sin embargo, la confirmación de su cualidad se establece con los criterios establecidos en el texto. Para una revisión más extensa de los resultados refiérase a los Anexos Digitales.

Tabla B.1. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) para la muestra precursora WC57 considerando cada elemento en la cabecera como conservado para las muestras de Jiang et al (2018).

Precursora WC57																																							
Conservado	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	P2O5	MgO	CaO	Na2O	K2O	H2O	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Cs	Ba	Hf	Ta	Pb	Th	U						
WC01	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	2.7105E-20	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0					
WC02	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	-1.1102E-16	0	0	0	-1.7347E-18	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0				
WC03	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.9389E-18	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0				
WC04	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.4694E-18	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	4.3368E-19	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0				
WC05	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	-1.1102E-16	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0				
WC06	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	4.3368E-19	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0				
WC07	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
WC08	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	-1.7764E-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.4694E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	2.7105E-20	0	0		
WC09	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	-1.1102E-16	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	2.7105E-20	0	0		
WC10	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	1.1102E-16	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	6.7763E-21	6.9389E-18	0	0	0	0	0	2.7105E-20	0	0		
WC11	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	-6.7763E-21	0	0	0	0	0	0	0	0			
WC12	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	-1.1102E-16	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
WC13	0	0	0	0	0	2.7756E-17	8.8818E-16	0	0	0	0	0	1.0842E-19	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	2.7105E-20	0	0	0		
WC14	0	0	0	0	0	2.7756E-17	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
WC15	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	-1.3553E-20	0	6.9389E-18	0	0	0	0	0	0	0	0		
WC16	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.4694E-18	0	-1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0		
WC17	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	-1.1102E-16	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	-1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20		
WC18	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
WC19	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	1.1102E-16	0	0	0	0	0	0	3.4694E-18	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	6.7763E-21	-3.4694E-18	0	0	0	0	0	0	2.7105E-20	0	0	
WC20	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	-1.7764E-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20		
WC21	0	0	0	0	0	0	-8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
WC22	7.1054E-15	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	1.1102E-16	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
WC23	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	1.1102E-16	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WC24	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	1.0842E-19	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	4.3368E-19	1.3553E-20	-6.7763E-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WC25	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	1.1102E-16	1.0842E-19	2.7105E-20	0	0	0	0	1.7347E-18	-8.6736E-19	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	2.7105E-20	0	0	0	
WC26	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	2.7105E-20	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WC27	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	
WC28	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	
WC29	-1.4211E-14	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	-1.1102E-16	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WC30	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WC31	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
W31a	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	
WC32	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	2.7105E-20	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	6.7763E-21	0	0	0	2.7105E-20	0	0	0	0	0	0
WC33	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	-1.7764E-15	0	0	0	0	0	2.7105E-20	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	-6.7763E-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WC34	0	0	0	0	0	0	1.7764E-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WC35	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WC36	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	-1.1102E-16	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WC37	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WC38	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WC39	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	2.7105E-20	5.421E-20	0	0	0
WC40	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WC41	-1.4211E-14	0	0	0	0	2.7756E-17	8.8818E-16	0	0	0	0	0	1.0842E-19	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
WC42	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7347E-18	0	0	0	0	0	0	0	1.3553E-20	6.7763E-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WC43	0	0	0	0	0	0	8.8818E-16	-1.776																															

Tabla B.2. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) para la muestra precursora JLNRO04 considerando cada elemento en la cabecera como conservado para las muestras de Liu et al (2006).

Precursor Conserved	JLNRO04 SiO2	Al2O3	K2O	Na2O	CaO	MgO	FeO	MnO	TiO2	P2O5
JLNS101	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS102	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS103	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS104	0	-1,7764E-15	-8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-5,5511E-17	6,9389E-18
JLNS105	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS107	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS109	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS111	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS113	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS115	1,4211E-14	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS117	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS118	0	-1,7764E-15	8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS119	0	-1,7764E-15	8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS120	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS121	0	-1,7764E-15	8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS123	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-1,1102E-16	0	0	-6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS124	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS125	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS126	0	-1,7764E-15	8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS128	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-5,5511E-17	6,9389E-18
JLNS129	0	-1,7764E-15	0	8,8818E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS130	0	-1,7764E-15	8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS133	1,4211E-14	-1,7764E-15	-8,8818E-16	4,4409E-16	5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS136	0	-1,7764E-15	-8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS137	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS141	0	-1,7764E-15	-8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS144	0	-1,7764E-15	8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS147	1,4211E-14	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS150	0	-1,7764E-15	-8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS151	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS152	0	-1,7764E-15	-8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	-2,7756E-17	0	-6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS153	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNR002	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNR003	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNR001	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18

Precursor Conserved	JLNRO04 SiO2	Al2O3	K2O	Na2O	CaO	MgO	FeO	MnO	TiO2	P2O5
JLNS201	0	-1,7764E-15	8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS202	0	-1,7764E-15	-8,8818E-16	4,4409E-16	-1,1102E-16	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS203	0	-1,7764E-15	-8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS205	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-5,5511E-17	6,9389E-18
JLNS207	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS209	0	1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS210	0	-1,7764E-15	-8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	-2,7756E-17	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS213	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS215	0	-1,7764E-15	-8,8818E-16	4,4409E-16	5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNR001	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNR002	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNR003	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18

Tabla B.2. Continuación.

Precursor	JLNR004									
Conservado	SiO2	Al2O3	K2O	Na2O	CaO	MgO	FeO	MnO	TiO2	P2O5
JLNS301	0	-1,7764E-15	-8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS302	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-5,5511E-17	6,9389E-18
JLNS303	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS305	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS307	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS309	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-1,1102E-16	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS312	0	-1,7764E-15	-8,8818E-16	4,4409E-16	5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS315	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNR001	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNR002	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNR003	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18

Precursor	JLNR004									
Conservado	SiO2	Al2O3	K2O	Na2O	CaO	MgO	FeO	MnO	TiO2	P2O5
JLNS401	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS402	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS404	0	-1,7764E-15	8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS405	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS407	0	-1,7764E-15	-8,8818E-16	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS409	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS412	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNS415	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	2,7756E-17	6,9389E-18
JLNR001	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNR002	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18
JLNR003	0	-1,7764E-15	0	4,4409E-16	-5,5511E-17	0	0	6,9389E-18	-2,7756E-17	6,9389E-18

Tabla B.3. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) para la muestra precursora CR120 considerando cada elemento como conservado para las muestras de Condie et al (1995).

Conservado	CR256	CR238	CR206	CR122	CR104	CR670	CR457	CR390	CR305	CR183	CR040	CR015	CR002
SiO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TiO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al2O3	0	0	0	0	0	0	-1,78E-15	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na2O	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rb	0	-3,47E-18	3,47E-18	0	0	0	0	-3,47E-18	0	0	3,47E-18	0	3,47E-18
Sr	0	0	0	0	0	0	-1,39E-17	-1,39E-17	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Th	0	0	-1,08E-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zr	0	0	0	0	0	0	-1,73E-18	0	0	0	0	0	0
Hf	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ta	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,36E-20	0	6,78E-21	0	0
Nb	0	0	0	0	0	0	0	2,71E-20	0	0	2,71E-20	0	0
La	0	0	0	4,34E-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nd	2,17E-19	-2,17E-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sm	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20
Eu	-1,36E-20	-1,36E-20	-1,36E-20	-1,36E-20	-1,36E-20	-1,36E-20	-1,36E-20	-1,36E-20	-1,36E-20	-1,36E-20	-1,36E-20	-1,36E-20	-1,36E-20
Tb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lu	-3,39E-21	-1,69E-21	-1,69E-21	-1,69E-21	-3,39E-21	-1,69E-21	-1,69E-21	-1,69E-21	-1,69E-21	-1,69E-21	-1,69E-21	-3,39E-21	-1,69E-21
Sc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5,42E-20
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla B.4. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) para la muestra Esquisto precursora considerando cada elemento como conservado para las muestras de Magloughlin (1992).

Precursor Esqui	without PlagH					
	Conservado	PsTak	Vidri	MaCat	Blebs	Halos
SiO2			0	0	0	0
TiO2			0	0	0	0
Al2O3		1,7764E-15	-1,7764E-15		0	0
FeO		8,8818E-16	8,8818E-16	8,8818E-16	8,8818E-16	8,8818E-16
MgO			0	0	0	0
MnO			0	0	0	0
CaO			0	0	0	0
Na2O			0	0	0	0
K2O			0	0	4,4409E-16	0

Tabla B.5. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) considerando la muestra precursora EF01 y WR01 considerando cada elemento en la cabecera como conservado para las muestras de Goddard (1993).

Precursor	EF01	Conserved	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	H2O	Rb	Sr	Ba
Damaged zone	EF2Adam	EFd1	2,8E-14	2,8E-17	5,3E-15	2,2E-16	3,5E-18	1,1E-16	4,4E-16	8,9E-16	8,9E-16	1,4E-17	4,4E-16	3,5E-18	6,9E-18	5,6E-17
	EF2dam	EFd2	2,8E-14	2,8E-17	5,3E-15	4,4E-16	3,5E-18	1,1E-16	4,4E-16	8,9E-16	1,3E-15	1,4E-17	4,4E-16	3,5E-18	6,9E-18	5,6E-17
	EF4Adam	EFd4	2,8E-14	2,8E-17	5,3E-15	2,2E-16	3,5E-18	5,6E-17	4,4E-16	8,9E-16	8,9E-16	1,4E-17	4,4E-16	1,7E-18	6,9E-18	5,6E-17
Vein	EFJE4dam	EFdJ	2,8E-14	2,8E-17	5,3E-15	4,4E-16	3,5E-18	1,1E-16	4,4E-16	8,9E-16	8,9E-16	1,4E-17	4,4E-16	3,5E-18	6,9E-18	5,6E-17
	EF2vein	EFv1	1,4E-14	2,8E-17	5,3E-15	2,2E-16	3,5E-18	1,1E-16	4,4E-16	8,9E-16	4,4E-16	1,4E-17	4,4E-16	3,5E-18	6,9E-18	5,6E-17
Damaged/gouge	EF288	EFg1	1,4E-14	2,8E-17	5,3E-15	2,2E-16	3,5E-18	1,1E-16	4,4E-16	8,9E-16	8,9E-16	1,4E-17	4,4E-16	3,5E-18	6,9E-18	5,6E-17
	EF14a88	EFg2	2,8E-14	2,8E-17	5,3E-15	2,2E-16	3,5E-18	1,1E-16	4,4E-16	8,9E-16	4,4E-16	1,4E-17	4,4E-16	3,5E-18	6,9E-18	5,6E-17
Gouge/cataclasite	EF2c91	EFc1	2,8E-14	2,8E-17	5,3E-15	2,2E-16	3,5E-18	1,1E-16	4,4E-16	8,9E-16	8,9E-16	1,4E-17	4,4E-16	3,5E-18	6,9E-18	5,6E-17
	EFJE2	EFc2	2,8E-14	2,8E-17	5,3E-15	2,2E-16	3,5E-18	1,1E-16	4,4E-16	8,9E-16	8,9E-16	1,4E-17	4,4E-16	3,5E-18	6,9E-18	5,6E-17
	EF4B	EFc3	2,8E-14	2,8E-17	5,3E-15	2,2E-16	3,5E-18	5,6E-17	4,4E-16	8,9E-16	1,3E-15	1,4E-17	4,4E-16	3,5E-18	6,9E-18	5,6E-17

Precursor	WR01	Conserved	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	H2O	Rb	Sr	Ba	Zr
Protocataclasite	WR691	WRp1	0	0	0	0	-3,5E-18	0	0	0	0	2,8E-17	0	0	0	0	0
	WR1391	WRp2	0	0	0	0	-3,5E-18	0	0	0	0	2,8E-17	0	0	0	0	-3,5E-18
	WR8a91	WRp3	0	0	0	0	-3,5E-18	0	0	0	0	2,8E-17	0	0	0	0	-3,5E-18
Vein	WR591	WRp4	0	0	0	0	-6,9E-18	0	0	0	0	2,8E-17	0	-8,7E-19	0	0	0
	WR1691	WRp5	0	0	0	0	-3,5E-18	0	0	0	0	2,8E-17	0	0	0	0	0
	WR491	WRv1	0	0	0	0	-3,5E-18	0	0	0	0	2,8E-17	0	0	0	0	0
Cataclasites	WR1991	WRc1	0	0	0	0	-3,5E-18	0	0	0	0	2,8E-17	0	0	0	0	-3,5E-18
	WR1S91	WRc2	0	0	0	0	-3,5E-18	0	8,9E-16	0	0	2,8E-17	0	0	0	0	0
	WR1O91	WRc3	0	0	0	0	-3,5E-18	0	0	0	0	2,8E-17	0	0	-6,9E-18	0	0
	WR8b91	WRc4	0	0	0	0	-3,5E-18	0	0	0	0	2,8E-17	0	0	0	0	-3,5E-18
	WR14b91	WRc5	0	0	0	0	-3,5E-18	0	0	0	0	2,8E-17	0	0	0	0	0
Ultracat.	WRf92	WRu1	0	0	0	0	-3,5E-18	0	0	0	0	2,8E-17	0	0	0	0	0
Protocat.	WR191	WRp6	0	0	0	0	-3,5E-18	0	0	0	0	2,8E-17	0	0	0	0	-3,5E-18
Protolith	WRe92	WR02	0	0	0	0	-6,9E-18	0	0	-8,9E-16	0	2,8E-17	0	0	0	0	0

Tabla B.6. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) para la muestra precursora 61024 considerando cada elemento en la cabecera como conservado para las muestras de Aguirre (1988).

Precursor A61024 Without S

Conservado	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5
A61022	1,4211E-14	2,2204E-16	0	1,7764E-15	2,2204E-16	1,3878E-17	1,3323E-15	0	4,4409E-16	0	5,5511E-17
A61023	1,4211E-14	2,2204E-16	0	1,7764E-15	2,2204E-16	1,3878E-17	8,8818E-16	0	4,4409E-16	0	5,5511E-17
A61025	1,4211E-14	2,2204E-16	0	1,7764E-15	2,2204E-16	1,3878E-17	8,8818E-16	0	1,3323E-15	0	5,5511E-17
A61026	1,4211E-14	2,2204E-16	0	1,7764E-15	2,2204E-16	1,3878E-17	8,8818E-16	0	4,4409E-16	0	5,5511E-17
A61027	1,4211E-14	2,2204E-16	0	1,7764E-15	2,2204E-16	1,3878E-17	8,8818E-16	0	4,4409E-16	0	5,5511E-17

Precursor A61024 Without S

Conservado	Ba	Cl	Co	Cr	Cu	Ga	Ni	Nb	Pb	Rb	Sr	Ta	Th	U
A61022	0	0	0	4,3368E-19	0	2,1684E-19	0	1,0842E-19	2,1684E-19	1,7347E-18	6,9389E-18	6,7763E-21	2,1684E-19	5,421E-20
A61023	0	0	0	4,3368E-19	0	2,1684E-19	0	1,0842E-19	2,1684E-19	1,7347E-18	6,9389E-18	6,7763E-21	2,1684E-19	5,421E-20
A61025	0	0	0	4,3368E-19	1,3878E-17	2,1684E-19	0	1,0842E-19	2,1684E-19	1,7347E-18	6,9389E-18	6,7763E-21	2,1684E-19	5,421E-20
A61026	0	0	0	4,3368E-19	0	2,1684E-19	0	1,0842E-19	2,1684E-19	1,7347E-18	1,3878E-17	6,7763E-21	2,1684E-19	5,421E-20
A61027	0	0	0	4,3368E-19	0	2,1684E-19	0	1,0842E-19	2,1684E-19	1,7347E-18	6,9389E-18	6,7763E-21	2,1684E-19	5,421E-20

Precursor A61024 Without S

Conservado	V	Y	Zn	Zr	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Tb	Dy	Ho	Yb
A61022	3,4694E-18	4,3368E-19	0	3,4694E-18	4,3368E-19	8,6736E-19	1,0842E-19	4,3368E-19	1,0842E-19	1,3553E-20	1,3553E-20	1,0842E-19	1,3553E-20	0
A61023	3,4694E-18	4,3368E-19	1,7347E-18	3,4694E-18	4,3368E-19	0	1,0842E-19	4,3368E-19	1,0842E-19	1,3553E-20	1,3553E-20	1,0842E-19	1,3553E-20	0
A61025	3,4694E-18	4,3368E-19	1,7347E-18	3,4694E-18	4,3368E-19	8,6736E-19	1,0842E-19	4,3368E-19	1,0842E-19	1,3553E-20	1,3553E-20	1,0842E-19	1,3553E-20	0
A61026	3,4694E-18	4,3368E-19	1,7347E-18	3,4694E-18	4,3368E-19	8,6736E-19	1,0842E-19	4,3368E-19	1,0842E-19	1,3553E-20	1,3553E-20	1,0842E-19	1,3553E-20	0
A61027	6,9389E-18	4,3368E-19	1,7347E-18	3,4694E-18	4,3368E-19	8,6736E-19	1,0842E-19	4,3368E-19	1,0842E-19	1,3553E-20	1,3553E-20	1,0842E-19	1,3553E-20	0

Tabla B.7. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) para la muestra precursora Shale and Salte (=LutPiz) onsiderando cada elemento en la cabecera como conservado para las muestras de Ague (1991).

Precursor LutPiz

Conservado	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	MgO	MnO	CaO	Na2O	K2O	P2O5
EsqVer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anfibo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla B.8. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) para la muestra precursora MBG0708 considerando cada elemento como conservado para las muestras komatiíticas de Malviya et al. (2006).

Conservado	MAU1108	MBG1108	MBG0908	MAV1007
SiO2	7,1054E-15	7,1054E-15	7,1054E-15	7,1054E-15
TiO2	0	1,1102E-16	1,1102E-16	1,1102E-16
Al2O3	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15
Fe2O3	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15
MnO	5,5511E-17	5,5511E-17	0	5,5511E-17
MgO	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15
CaO	1,7764E-15	8,8818E-16	8,8818E-16	8,8818E-16
Na2O	4,4409E-16	4,4409E-16	4,4409E-16	4,4409E-16
K2O	2,2204E-16	2,2204E-16	2,2204E-16	2,2204E-16
P2O5	0	0	0	0
Ba	1,7347E-18	1,7347E-18	1,7347E-18	1,7347E-18
Co	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19
Cr	1,3878E-17	1,3878E-17	1,3878E-17	1,3878E-17
Cu	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19
Ni	3,4694E-18	3,4694E-18	3,4694E-18	3,4694E-18
Rb	1,7347E-18	1,7347E-18	1,7347E-18	1,7347E-18
Sr	3,4694E-18	3,4694E-18	3,4694E-18	3,4694E-18
V	3,4694E-18	3,4694E-18	3,4694E-18	3,4694E-18
Y	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19
Zn	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19
Zr	1,7347E-18	1,7347E-18	1,7347E-18	1,7347E-18
La	0	0	0	0
Ce	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19
Pr	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20
Nd	2,1684E-19	2,1684E-19	2,1684E-19	2,1684E-19
Sm	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20
Eu	1,3553E-20	1,3553E-20	1,3553E-20	1,3553E-20
Gd	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20
Tb	1,3553E-20	1,3553E-20	1,3553E-20	1,3553E-20
Dy	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20
Ho	1,3553E-20	1,3553E-20	1,3553E-20	1,3553E-20
Er	0	0	0	0
Tm	3,3881E-21	3,3881E-21	3,3881E-21	3,3881E-21
Yb	2,7105E-20	2,7105E-20	2,7105E-20	2,7105E-20
Lu	3,3881E-21	3,3881E-21	3,3881E-21	3,3881E-21
Nb	1,0842E-19	1,0842E-19	1,0842E-19	1,0842E-19
Hf	2,7105E-20	0	2,7105E-20	2,7105E-20
Ta	6,7763E-21	6,7763E-21	6,7763E-21	6,7763E-21
Cs	1,3553E-20	1,3553E-20	1,3553E-20	1,3553E-20
Th	0	0	0	0
U	0	0	0	0

Tabla B.8. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) para la muestra precursora MBG0708 considerando cada elemento como conservado para las muestras de lavas almohadilladas de Malviya et al. (2006).

Conservado	MAU0001	MAU1107	MAU1308	MAU0507	MAU0207	MAU0108	MAU0408	MAU0607	MAU0407	MAU0807	MAU0308	MAU1307	MAU1408	MBG0308	MAU0908	MAU0808
SiO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TiO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al2O3	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0	0	0	0	2,7756E-17	0	2,7756E-17	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	-1,7764E-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CaO	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	5,5511E-17	0	0	5,5511E-17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cu	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rb	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1684E-19	0	0	0	0	0	0	0
Sr	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-3,4694E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18
V	0	0	0	0	0	0	0	0	-6,9389E-18	0	0	0	0	0	0	0
Y	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19	-4,3368E-19
Zn	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19
Zr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla B.9. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) para los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de alteración de Alderton et al. (1980).

Alteración	K-silicatada	Sericítica	Cloritización	Cloritización	Argílica	Argílica	Turmalinización
Precursor	PE36	HAX5	PE69	PE33	PE33	PE33	BH06
Conservado	P2O5	TiO2	SiO2	P2O5	Zr	Zr	P2O5
Secundaria	D126	HAX3	PE67	DD7938	PE47	PE41	Tour
SiO2	2,84E-14	-4,26E-14	-1,42E-14	-2,84E-14	-1,42E-14	-1,42E-14	0
Al2O3	3,55E-15	-8,88E-15	-3,55E-15	-5,33E-15	-1,78E-15	-1,78E-15	0
Fe2O3	2,22E-16	-3,33E-16	-2,22E-16	-6,66E-16	-2,22E-16	-2,22E-16	0
FeO	2,22E-16	-8,88E-16	-1,11E-16	-3,33E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	0
MnO	1,39E-17	-2,78E-17	-1,39E-17	-1,73E-17	-6,94E-18	-6,94E-18	0
MgO	1,11E-16	-2,22E-16	-1,67E-16	-2,22E-16	-5,55E-17	-5,55E-17	-5,55E-17
CaO	2,22E-16	-4,44E-16	-2,22E-16	-3,33E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	0
Na2O	8,88E-16	-1,33E-15	-8,88E-16	-1,33E-15	-4,44E-16	-4,44E-16	0
K2O	1,78E-15	-3,55E-15	-1,78E-15	-1,78E-15	-8,88E-16	-8,88E-16	8,88E-16
TiO2	5,55E-17	-1,67E-16	-8,33E-17	-1,67E-16	-5,55E-17	-5,55E-17	0
P2O5	5,55E-17	-1,11E-16	-8,33E-17	-1,11E-16	-2,78E-17	-2,78E-17	0
Zr	1,73E-18	-6,94E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	0
Hf	5,42E-20	-2,17E-19	-5,42E-20	-1,08E-19	-5,42E-20	-5,42E-20	0
Th	4,34E-19	-1,30E-18	-6,51E-19	-8,67E-19	0	0	0
La	8,67E-19	-2,60E-18	-8,67E-19	-1,30E-18	-4,34E-19	-4,34E-19	0
Ce	8,67E-19	-6,94E-18	-1,73E-18	-2,60E-18	-8,67E-19	-8,67E-19	0
Nd	8,67E-19	-2,60E-18	-8,67E-19	-1,30E-18	-4,34E-19	4,34E-19	0
Sm	2,17E-19	-5,42E-19	-1,08E-19	-4,34E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	0
Eu	2,71E-20	-5,42E-20	-1,36E-20	-2,71E-20	-1,36E-20	-1,36E-20	0
Tb	1,36E-20	-4,07E-20	-2,03E-20	-2,03E-20	-6,78E-21	-1,36E-20	0
Yb	5,42E-20	-5,42E-20	-2,71E-20	-4,07E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	0
Li				-3,47E-18			
Rb				-2,08E-17			
Sr				-3,47E-18			
Ta				-5,42E-20			
Pb				-8,67E-19			
Sc				-1,63E-19			
Tm				-6,78E-21			
Lu				-5,08E-21			

Tabla B.10. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de alteración de Bach et al. (2001).

Precursor Conservado	F1	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	
Secundaria	A1-1	A1-2	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	B12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
SiO2	2,84E-14	2,84E-14	-7,11E-15	2,13E-14	-1,42E-14	0	4,26E-14	-1,42E-14	-2,13E-14	-7,11E-15	0	2,13E-14	2,13E-14	2,13E-14	-2,84E-14	0	-7,11E-15	-2,13E-14	-1,42E-14	-1,42E-14
TiO2	1,11E-16	1,11E-16	-5,55E-17	2,22E-16	-2,22E-16	0	3,33E-16	-1,11E-16	-3,33E-16	-5,55E-17	0	2,22E-16	2,22E-16	3,33E-16	-1,67E-16	0	0	-2,22E-16	-1,11E-16	-5,55E-17
Al2O3	1,07E-14	1,07E-14	-3,55E-15	1,07E-14	-3,55E-15	0	1,42E-14	-5,33E-15	-7,11E-15	-1,78E-15	0	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	-1,07E-14	-1,78E-15	0	-7,11E-15	-3,55E-15	-3,55E-15
FeO	2,66E-15	2,66E-15	-4,44E-16	8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	2,22E-15	-1,78E-15	-2,66E-15	-8,88E-16	2,66E-15	2,66E-15	2,66E-15	2,66E-15	-2,66E-15	0	0	-1,78E-15	-1,78E-15	-1,78E-15
Fe2O3	8,88E-16	8,88E-16	-2,22E-16	8,88E-16	-1,11E-16	0	6,66E-16	-8,88E-16	-3,33E-16	-2,22E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	-8,88E-16	0	0	-4,44E-16	-4,44E-16	-2,22E-16
MnO	5,55E-17	5,55E-17	-1,39E-17	2,78E-17	-1,39E-17	0	5,55E-17	-5,55E-17	-8,33E-17	-2,78E-17	0	8,33E-17	8,33E-17	5,55E-17	-5,55E-17	0	1,39E-17	-5,55E-17	-2,78E-17	-2,78E-17
MgO	7,11E-15	7,11E-15	0	1,78E-15	-8,88E-16	0	3,55E-15	-3,55E-15	-3,55E-15	-1,78E-15	1,78E-15	5,33E-15	5,33E-15	5,33E-15	-7,11E-15	0	-1,78E-15	-3,55E-15	-3,55E-15	-3,55E-15
CaO	5,33E-15	5,33E-15	-1,78E-15	7,11E-15	-3,55E-15	0	1,07E-14	-5,33E-15	-7,11E-15	-1,78E-15	1,78E-15	7,11E-15	5,33E-15	5,33E-15	-5,33E-15	0	0	-5,33E-15	-3,55E-15	-3,55E-15
Na2O	1,33E-15	1,33E-15	-4,44E-16	1,78E-15	-8,88E-16	-4,44E-16	2,66E-15	-8,88E-16	-8,88E-16	-4,44E-16	0	8,88E-16	1,33E-15	1,33E-15	-1,33E-15	0	0	-8,88E-16	-6,66E-16	-4,44E-16
K2O	2,78E-17	2,78E-17	-6,94E-18	2,78E-17	-2,78E-17	0	4,16E-17	-1,39E-17	-2,08E-17	-6,94E-18	0	1,04E-17	1,39E-17	1,39E-17	-1,39E-17	0	-1,73E-18	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,04E-17
P2O5	3,47E-18	3,47E-18	0	1,39E-17	-1,39E-17	0	2,78E-17	-1,39E-17	-2,08E-17	-3,47E-18	0	6,94E-18	6,94E-18	6,94E-18	6,94E-18	0	0	0	0	0
S	1,69E-21	1,69E-21	-2,12E-22	4,24E-22	-8,47E-22	0	8,47E-22	-6,78E-21	-5,08E-21	-8,47E-22	-8,47E-22	2,54E-21	2,78E-17	2,78E-17	-2,78E-17	0	-8,47E-22	-2,54E-21	-8,47E-22	-1,69E-21
Li	2,17E-19	2,17E-19	-5,42E-20	3,25E-19	-5,42E-20	-5,42E-20	2,17E-19	-1,08E-19	-1,63E-19	0	0	1,63E-19	3,25E-19	3,25E-19	-2,17E-19	0	0	-1,63E-19	-1,08E-19	-2,17E-19
Be	8,47E-21	8,47E-21	-3,39E-21	6,78E-21	-1,36E-20	0	1,36E-20	-6,78E-21	-1,02E-20	-1,69E-21	-3,39E-21	5,08E-21	1,02E-20	1,02E-20	-6,78E-21	0	0	-5,08E-21	-1,69E-21	-3,39E-21
Sc	5,42E-19	5,42E-19	-8,67E-19	1,30E-18	-8,67E-19	0	2,17E-18	-8,67E-19	-1,73E-18	-8,67E-19	8,67E-19	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	-1,73E-18	0	-4,34E-19	-1,73E-18	-8,67E-19	-1,30E-18
V	2,60E-18	2,60E-18	-1,73E-18	3,47E-18	-1,73E-18	0	8,67E-18	-3,47E-18	-6,94E-18	0	0	1,04E-17	6,94E-18	6,94E-18	-5,20E-18	-1,73E-18	0	-6,94E-18	-6,94E-18	-3,47E-18
Cr	3,47E-18	3,47E-18	-8,67E-19	3,47E-18	-2,60E-18	1,73E-18	5,20E-18	-3,47E-18	-2,60E-18	-4,34E-19	0	2,60E-18	6,94E-18	6,94E-18	-1,04E-17	0	0	-5,20E-18	-1,39E-17	-6,94E-18
Co	3,47E-18	3,47E-18	-4,34E-19	1,30E-18	-4,34E-19	0	1,73E-18	-8,67E-19	-1,73E-18	-8,67E-19	0	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	-2,60E-18	0	0	-2,60E-18	-1,73E-18	-1,73E-18
Ni	1,73E-17	1,73E-17	-8,67E-19	3,47E-18	-1,73E-18	-8,67E-19	3,47E-18	-1,73E-18	-2,60E-18	-8,67E-19	1,73E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	-6,94E-18	0	0	-3,47E-18	-3,47E-18	-5,20E-18
Cu	2,60E-18	1,73E-18	-4,34E-19	2,60E-18	-1,73E-18	-8,67E-19	1,30E-18	-2,60E-18	-2,60E-18	-8,67E-19	0	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	-2,60E-18	0	8,67E-19	-3,47E-18	-8,67E-19	-3,47E-18
Zn	2,17E-18	2,17E-18	-4,34E-19	1,30E-18	-8,67E-19	0	1,73E-18	-8,67E-19	-2,60E-18	0	0	2,17E-18	1,73E-18	1,73E-18	-2,17E-18	4,34E-19	0	-1,30E-18	-1,30E-18	-1,30E-18
Ga	4,34E-19	6,51E-19	-2,17E-19	6,51E-19	-6,51E-19	0	8,67E-19	-2,17E-19	-6,51E-19	-2,17E-19	0	4,34E-19	6,51E-19	6,51E-19	-6,51E-19	0	0	-4,34E-19	-2,17E-19	-2,17E-19
Rb	1,02E-20	1,02E-20	-6,78E-21	4,07E-20	-6,78E-21	1,36E-20	2,03E-20	-1,02E-20	-5,08E-21	-8,47E-22	-1,69E-21	5,08E-21	6,78E-21	6,78E-21	-6,78E-21	0	0	-8,47E-21	-1,69E-21	-3,39E-21
Sr	1,04E-17	1,04E-17	-3,47E-18	6,94E-18	-6,94E-18	-1,73E-18	1,39E-17	-3,47E-18	-5,20E-18	-3,47E-18	-1,73E-18	5,20E-18	6,94E-18	6,94E-18	-6,94E-18	0	0	-6,94E-18	-3,47E-18	-5,20E-18
Y	2,17E-19	2,17E-19	-2,17E-19	4,34E-19	-4,34E-19	0	6,51E-19	-8,67E-19	-6,51E-19	-1,08E-19	0	4,34E-19	6,51E-19	6,51E-19	-4,34E-19	0	-1,08E-19	-6,51E-19	-2,17E-19	-1,08E-19
Zr	4,34E-19	4,34E-19	-8,67E-19	8,67E-19	-8,67E-19	-2,17E-19	1,30E-18	-8,67E-19	-1,30E-18	-2,17E-19	0	1,08E-18	1,30E-18	1,30E-18	-6,51E-19	4,34E-19	1,08E-19	-1,30E-18	-4,34E-19	-3,25E-19
Nb	5,08E-21	5,08E-21	-6,78E-21	1,02E-20	-4,16E-17	0	2,03E-20	-6,78E-21	-2,03E-20	-1,69E-21	0	6,78E-21	2,03E-20	2,03E-20	-6,78E-21	0	0	-6,78E-21	-3,39E-21	-1,69E-21
Cs	4,24E-22	4,24E-22	-2,12E-22	1,69E-21	-1,27E-21	0	1,69E-21	-1,06E-22	-3,97E-23	0	0	3,97E-23	3,97E-23	3,97E-23	-1,06E-22	0	-2,65E-23	-1,06E-22	-3,97E-23	-3,97E-23
Ba	1,36E-19	1,36E-19	-1,08E-19	1,63E-19	-1,08E-19	0	2,71E-19	-1,08E-19	-1,63E-19	-5,42E-20	0	5,42E-19	1,63E-19	1,63E-19	-5,42E-20	0	0	-5,42E-20	-2,71E-20	-5,42E-20
La	2,71E-20	3,39E-20	0	4,07E-20	-8,13E-20	0	6,78E-20	-2,71E-20	-5,42E-20	-6,78E-21	-6,78E-21	2,71E-20	4,07E-20	4,07E-20	-2,71E-20	-1,36E-20	0	-4,07E-20	-1,36E-20	-1,36E-20
Ce	8,13E-20	8,13E-20	-1,08E-19	1,08E-19	-1,08E-19	0	1,63E-19	-1,08E-19	-1,63E-19	-2,71E-20	0	8,13E-20	1,63E-19	1,63E-19	-1,08E-19	0	0	-1,63E-19	-5,42E-20	-2,71E-20
Pr	1,36E-20	1,36E-20	-1,36E-20	2,03E-20	-4,07E-20	0	3,39E-20	-1,36E-20	-4,07E-20	-6,78E-21	0	2,03E-20	2,71E-20	2,71E-20	-1,36E-20	0	-3,39E-21	-2,03E-20	-6,78E-21	-6,78E-21
Nd	8,13E-20	8,13E-20	-1,08E-19	1,08E-19	-2,17E-19	0	1,63E-19	-1,08E-19	-2,17E-19	-2,71E-20	0	1,08E-19	1,63E-19	1,63E-19	-1,08E-19	0	0	-1,08E-19	-5,42E-20	-2,71E-20
Sm	2,71E-20	2,71E-20	-2,71E-20	4,07E-20	-2,71E-20	0	6,78E-20	-2,71E-20	-5,42E-20	-1,36E-20	0	5,42E-20	8,13E-20	8,13E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-1,36E-20	-5,42E-20	-2,71E-20	-1,36E-20
Eu	2,71E-20	2,71E-20	-1,36E-20	2,71E-20	-2,71E-20	0	5,42E-20	-1,36E-20	-4,07E-20	-6,78E-21	0	2,03E-20	4,07E-20	4,07E-20	-2,71E-20	0	0	-3,39E-20	-1,36E-20	-1,36E-20
Tb	6,78E-21	6,78E-21	0	1,02E-20	-6,78E-21	0	2,03E-20	-2,03E-20	-2,03E-20	-3,39E-21	0	1,36E-20	2,03E-20	2,03E-20	-6,78E-21	0	0	-1,36E-20	-6,78E-21	-6,78E-21
Gd	4,07E-20	4,07E-20	-2,71E-20	5,42E-20	-5,42E-20	-2,71E-20	1,08E-19	-5,42E-20	-1,08E-19	-2,71E-20	0	5,42E-20	1,08E-19	1,08E-19	-5,42E-20	0	0	-8,13E-20	-2,71E-20	-2,71E-20
Dy	4,07E-20	4,07E-20	0	8,13E-20	-1,08E-19	0	1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-2,71E-20	0	8,13E-20	1,08E-19	1,08E-19	-5,42E-20	0	0	-1,08E-19	-8,13E-20	-4,07E-20
Ho	1,02E-20	1,02E-20	-6,78E-21	1,36E-20	-2,03E-20	0	2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	0	0	2,03E-20	2,71E-20	2,71E-20	-1,36E-20	0	0	-2,03E-20	-1,36E-20	-6,78E-21
Er	2,71E-20	2,71E-20	-2,71E-20	4,07E-20	-2,71E-20	0	8,13E-20	-2,71E-20	-8,13E-20	-2,71E-20	0	5,42E-20	5,42E-20	5,42E-20	-5,42E-20	0	0	-5,42E-20	-2,71E-20	-2,71E-20
Tm	4,24E-21	3,39E-21	-3,39E-21	6,78E-21	-6,78E-21	0	1,02E-20	-1,36E-20	-1,02E-20	-1,69E-21	0	6,78E-21	1,02E-20	1,02E-20	-5,08E-21	0	0	-1,02E-20	-3,39E-21	-1,69E-21
Yb	2,71E-20	2,71E-20	-2,71E-20	4,07E-20	-2,71E-20	0	6,78E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-1,36E-20	0	5,42E-20	5,42E-20	5,42E-20	-4,07E-20	-1,36E-20	0	-4,07E-20	-4,07E-20	-1,36E-20
Lu	4,24E-21	3,39E-21	-3,39E-21	5,08E-21	-6,78E-21	0	1,02E-20	-6,78E-21	-1,02E-20	-1,69E-21	0	6,78E-21	1,02E-20	1,02E-20	-6,78E-21	0	0	-1,02E-20	-3,39E-21	-1,69E-21
Hf	1,36E-20	1,36E-20	-1,39E-17	1,36E-20	-2,71E-20	0	3,39E-20	-2,78E-17	-4,07E-20	-6,78E-21	0	2,71E-20	4,07E-20	4,07E-20	-2,03E-20	0	3,39E-21	-4,07E-20	-1,36E-20	-6,78E-21
Ta	6,35E-22	6,35E-22	-2,78E-17	2,54E-21	-1,69E-21	0	2,12E-21	-1,27E-21	-8,47E-22	-4,24E-22	0	4,24E-22	1,69E-21	1,69E-21	-8,47E-22	0	-1,06E-22	-8,47E-22	-2,12E-22	-2,12E-22
Pb	1,36E-20	1,36E-20	-6,78E-21	1,36E-20	-1,36E-20	0	1,69E-20	-1,36E-20	-1,36E-20	-3,39E-21	0	1,02E-20	1,02E-20	1,02E-20	-2,71E-20	0	0	-6,78E-21	-3,39E-21	-3,39E-21
Th	4,24E-22	4,24E-22	0	1,27E-21	-3,39E-21	0	1,69E-21	-1,27E-21	-8,47E-22	-1,06E-22	0	4,24E-22	6,35E-22	6,35E-22	-6,35E-22	0	0	-8,47E-22	-2,12E-22	-2,12E-22
U	2,12E-21	2,12E-21	0	6,78E-21	-1,27E-21	0	1,06E-21	-2,12E-22	-3,18E-22	-2,65E-23	0	2,12E-22	2,12E-22	2,12E-22	-2,65E-23	0	-1,32E-23	-2,12E-22	-1,06E-22	-7,94E-23

Tabla B.11. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) para la muestra precursora SM203 considerando cada elemento como conservado para las muestras del perfil Zoulias de Christidis (1998).

Conservado	SM188	SM201	SM193	SM204	SM202
SiO2	-7,1054E-15	-7,1054E-15	-7,1054E-15	-7,1054E-15	-7,1054E-15
TiO2	-2,2204E-16	-2,2204E-16	-2,2204E-16	-2,2204E-16	-2,2204E-16
Al2O3	-3,5527E-15	-3,5527E-15	-3,5527E-15	-3,5527E-15	-3,5527E-15
Fe2O3	-4,4409E-16	-4,4409E-16	-4,4409E-16	-4,4409E-16	-4,4409E-16
MnO	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18	-1,7347E-18
MgO	-5,5511E-17	-5,5511E-17	-5,5511E-17	-5,5511E-17	-5,5511E-17
CaO	0	0	0	0	0
Na2O	-4,4409E-16	-4,4409E-16	-4,4409E-16	-4,4409E-16	-4,4409E-16
P2O5	-5,5511E-17	-5,5511E-17	0	-5,5511E-17	-5,5511E-17
V	-6,9389E-18	-6,9389E-18	-6,9389E-18	-6,9389E-18	-6,9389E-18
Cr	-8,6736E-19	-8,6736E-19	-8,6736E-19	-8,6736E-19	-8,6736E-19
Ni	0	0	0	0	0
Zn	0	-3,4694E-18	-3,4694E-18	-3,4694E-18	-3,4694E-18
Rb	-8,6736E-19	-8,6736E-19	0	-8,6736E-19	-2,6021E-18
Sr	-6,9389E-18	-6,9389E-18	-6,9389E-18	0	-6,9389E-18
Y	-8,6736E-19	-8,6736E-19	-8,6736E-19	-8,6736E-19	-8,6736E-19
Zr	0	0	0	0	0
Nb	-2,1684E-19	-2,1684E-19	-2,1684E-19	-2,1684E-19	-2,1684E-19
Ba	-1,3878E-17	-1,3878E-17	-1,3878E-17	-1,3878E-17	-1,3878E-17
La	0	0	0	0	0
Ce	-8,6736E-19	-8,6736E-19	-8,6736E-19	-8,6736E-19	-8,6736E-19
Nd	-4,3368E-19	0	-4,3368E-19	-4,3368E-19	0
Eu	-2,7105E-20	-2,7105E-20	-2,7105E-20	-2,7105E-20	-2,7105E-20
Dy	-1,0842E-19	-1,0842E-19	-1,0842E-19	-2,1684E-19	-1,0842E-19
Er	0	0	0	0	0
Yb	-1,0842E-19	-1,0842E-19	-1,0842E-19	-1,0842E-19	-1,0842E-19
Lu	-1,3553E-20	-1,3553E-20	-1,3553E-20	-1,3553E-20	-1,3553E-20
Th	-2,1684E-19	-2,1684E-19	-2,1684E-19	2,1684E-19	-2,1684E-19

Tabla B.11. Continuación: resultados de Cambio de Masa (dm_i) considerando la muestra precursora SM285 considerando cada elemento como conservado para las muestras del perfil Prassa de Christidis (1998).

Conservado	SM283	SM282	SM281	SM280	SM279	SM277	SM261
SiO2	2,8422E-14	0	1,4211E-14	1,4211E-14	1,4211E-14	1,4211E-14	1,4211E-14
TiO2	1,3878E-17	1,3878E-17	1,3878E-17	1,3878E-17	1,3878E-17	1,3878E-17	1,3878E-17
Al2O3	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15	1,7764E-15
Fe2O3	1,1102E-16	1,1102E-16	1,1102E-16	1,1102E-16	1,1102E-16	1,1102E-16	1,1102E-16
MgO	5,5511E-17	0	5,5511E-17	5,5511E-17	5,5511E-17	5,5511E-17	5,5511E-17
CaO	1,1102E-16	1,1102E-16	0	1,1102E-16	1,1102E-16	1,1102E-16	1,1102E-16
Na2O	4,4409E-16	4,4409E-16	4,4409E-16	4,4409E-16	4,4409E-16	4,4409E-16	4,4409E-16
K2O	0	0	0	0	0	0	8,8818E-16
La	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19
Ce	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19
Nd	2,1684E-19	2,1684E-19	2,1684E-19	2,1684E-19	4,3368E-19	2,1684E-19	2,1684E-19
Sm	5,421E-20	2,7105E-20	2,7105E-20	2,7105E-20	2,7105E-20	2,7105E-20	2,7105E-20
Eu	0	6,7763E-21	0	0	0	0	6,7763E-21
Dy	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20
Er	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20
Yb	0	0	0	0	0	0	0
Lu	0	1,3553E-20	6,7763E-21	0	6,7763E-21	6,7763E-21	6,7763E-21
Y	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19	0	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19
Zn	0	0	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19	8,6736E-19
Ni	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20	5,421E-20
Ba	2,7756E-17	2,7756E-17	2,7756E-17	2,7756E-17	2,7756E-17	2,7756E-17	2,7756E-17
Cr	0	0	0	0	0	0	0
Sr	3,4694E-18	0	3,4694E-18	6,9389E-18	3,4694E-18	6,9389E-18	6,9389E-18
Zr	3,4694E-18	1,7347E-18	1,7347E-18	1,7347E-18	1,7347E-18	1,7347E-18	1,7347E-18
Th	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19	4,3368E-19
Rb	3,4694E-18	3,4694E-18	3,4694E-18	3,4694E-18	3,4694E-18	3,4694E-18	3,4694E-18
Nb	0	0	0	0	0	0	0
Nb	2,1684E-19	2,1684E-19	2,1684E-19	2,1684E-19	2,1684E-19	2,1684E-19	2,1684E-19

Tabla B.12. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) para los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de Oliver et al. (2004).

Precursor	Pelite 94b	Pelite S404	Calc-sil 219	Calc-sil KN105	Diorite EHD1	Qtz-Monz 42767	Amphib EL079	Diorite J1L
Conservado	Al2O3	Al2O3	Ni	Al2O3	TiO2	P2O5	Sc	Ga
Secundario	Alb-Pelite 94d	Alb-Pelite S253.3	Alb-Calc-sil 147i	Alb-Calc-sil KN6B	Alb-Diorite EHD4	Alb-qtz-Monz 42741	Alb-Amphib EL116	Bt-alb-Diorite J1M
SiO2	-2,84E-14	2,84E-14	0	0	4,26E-14	0	0	-1,42E-14
TiO2	-1,11E-16	3,33E-16	0	0	6,66E-16	0	0	-2,22E-16
Al2O3	-3,55E-15	1,07E-14	0	0	1,24E-14	0	1,78E-15	-3,55E-15
Fe2O3	0	3,55E-15	0	0	5,33E-15	0	1,78E-15	-1,78E-15
MnO	-1,39E-17	2,08E-17	-6,94E-18	0	2,08E-17	0	-2,78E-17	-3,47E-18
MgO	-4,44E-16	8,88E-16	0	0	1,33E-15	0	0	-4,44E-16
CaO	-1,11E-16	1,11E-16	0	0	3,55E-15	0	0	-2,22E-16
Na2O	-4,44E-16	3,33E-16	0	8,88E-16	3,55E-15	0	0	0
K2O	-8,88E-16	2,66E-15	0	0	1,78E-15	0	0	-2,22E-16
P2O5	-2,78E-17	8,33E-17	0	0	1,39E-16	0	0	0
Cl			0	0	2,37E-20	6,94E-18		-8,47E-22
Ba		2,78E-17		0	3,47E-17	2,78E-17	0	-3,47E-18
Rb	-3,47E-18	2,08E-17	0	-8,67E-19	4,34E-18	0	1,73E-18	-8,67E-19
Sr	-1,30E-18	1,30E-18	8,67E-19	0	8,67E-18	1,73E-18	0	0
Pb		3,25E-19	5,42E-20		2,71E-19	2,17E-19		
Zr	-6,94E-18	6,94E-18	3,47E-18	0	1,39E-17	0	1,73E-18	-3,47E-18
Nb		8,67E-19			1,08E-18	0	-2,17E-19	0
Y	-8,67E-19	1,30E-18	0	-4,34E-19	2,17E-18	0	-4,34E-19	0
La					2,60E-18	1,73E-18		-4,34E-19
Ce				0	6,94E-18	0		-8,67E-19
Sc		8,67E-19		0	1,08E-18	0	0	-5,42E-20
V		3,47E-18		0	4,34E-18	0	3,47E-18	0
Cr		3,47E-18	0	0	5,42E-19	0	0	
Co		8,67E-19	0	0	1,08E-18	0	0	-1,08E-19
Ni		1,73E-18	0	-4,34E-19	3,25E-19	0	0	-4,34E-19
Cu		3,25E-19	1,08E-19	0	1,30E-18	2,17E-19	0	-2,17E-19
Zn		1,73E-18		0	4,34E-18	0	0	-2,17E-19
Ga		1,73E-18	0	2,17E-19	1,73E-18	0	0	0

Tabla B.13. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) para las muestra precursoras M409 para la Transversa-A y M104 para la Transversa-B considerando cada elemento como conservado para las muestras de Mori et al. (2008).

Precursor	M409										M104				
	Transversa A										Transversa B				
Secundaria	M401	M402	M403	M404	M405	M406	M407	M408	M411	M410	M101	M102	M103	M106	M105
SiO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15
TiO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	-1,78E-15	-1,78E-15	-1,78E-15	-1,78E-15	-1,78E-15
MnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2,78E-17	-2,78E-17	-2,78E-17	-2,78E-17	-2,78E-17
MgO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,78E-15	-1,78E-15	-1,78E-15	-1,78E-15	-1,78E-15
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16
K2O	0	0	0	0	5,55E-17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6,94E-18	0
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19
Cu	0	0	0	0	0	0	0	-1,73E-18	0	0	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19
Zn	1,73E-18	0	0	0	0	0	0	1,73E-18	0	0	-1,73E-18	-1,73E-18	0	0	-1,73E-18
Sr	0	3,47E-18	0	0	0	0	0	0	3,47E-18	0	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18
Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	-8,67E-19	8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-1,73E-18	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19

Tabla B.14. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) considerando la muestra precursoras del Nivel Central Inferior considerando cada elemento como conservado para las muestras de Cornejo y Mahood (1997).

Precursor Lower level Central Zone	Lower level border zone	Middle level central zone	Middle level border zone	Upper level	Leucogranite
SiO ₂	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	-2,22E-16	0	-2,22E-16	0
Al ₂ O ₃	-3,55E-15	-3,55E-15	-3,55E-15	-3,55E-15	-3,55E-15
Fe ₂ O ₃	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16
MnO	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17
MgO	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16
CaO	-8,88E-16	0	0	-8,88E-16	0
Na ₂ O	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-1,78E-15
K ₂ O	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16
P ₂ O ₅	0	-2,78E-17	-2,78E-17	-2,78E-17	-2,78E-17
Y	0	0	0	0	0
Ni	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-4,34E-19	0
Ba	-6,94E-18	-6,94E-18	-6,94E-18	-6,94E-18	-6,94E-18
Cr	0	0	0	0	0
V	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18
Sr	-6,94E-18	-6,94E-18	-6,94E-18	-6,94E-18	-6,94E-18
Zr	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-5,20E-18
Rb	-1,73E-18	-1,73E-18	-2,60E-18	-1,73E-18	-1,73E-18
Nb	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19

Tabla B.15. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) considerando la muestra precursora MS9304 considerando cada elemento en la cabecera como conservado para las muestras del Flujo C de Shore (1996).

Conservado	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	V	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Y
MS930000	0	0	8,88E-16	1,78E-15	0	0	0	0	6,94E-18	0	0	0	0	2,78E-17	0	-5,42E-20	1,08E-19	0
MS930001	0	0	0	1,78E-15	0	0	0	-5,55E-17	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	5,42E-20	1,08E-19	0
MS93001a	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	5,55E-17	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS930002	0	0	0	0	0	0	0	0	-6,94E-18	0	0	0	0	2,78E-17	0	-5,42E-20	1,08E-19	0
MS930003	0	0	0	0	0	0	0	0	6,94E-18	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	-1,08E-19
MS93003a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS930005	0	0	0	0	0	0	0	0	-6,94E-18	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS930006	0	0	0	0	0	7,11E-15	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	-1,08E-19	0
MS93006a	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS9307ag	0	0	0	0	0	7,11E-15	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS93007a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS93007b	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS9307cf	0	0	0	0	0	0	0	5,55E-17	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS9307ff	0	0	0	0	0	-7,11E-15	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS9307sw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	-1,08E-19
MS930008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	5,42E-20	1,08E-19	0
MS930009	0	0	8,88E-16	-1,78E-15	0	0	0	5,55E-17	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS9309ag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS930010	0	2,78E-17	0	1,78E-15	0	0	0	0	-6,94E-18	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS930011	0	0	0	0	0	7,11E-15	0	-5,55E-17	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	5,42E-20	1,08E-19	0
MS930012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS93013a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	-5,42E-20	1,08E-19	0
MS93013b	0	0	0	-1,78E-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	8,67E-19	0	1,08E-19	0
MS93014a	0	0	0	1,78E-15	-2,78E-17	7,11E-15	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS93014b	0	-2,78E-17	0	0	0	7,11E-15	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	5,42E-20	1,08E-19	0
MS930015	0	2,78E-17	0	0	-2,78E-17	-7,11E-15	0	5,55E-17	6,94E-18	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS930016	0	0	0	0	0	0	0	0	-6,94E-18	0	0	0	0	-2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS9317aa	0	-2,78E-17	8,88E-16	1,78E-15	0	0	0	0	6,94E-18	-1,73E-18	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS9317ab	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	5,42E-20	1,08E-19	-1,08E-19
MS93017b	0	0	0	0	0	0	0	5,55E-17	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0
MS93018a	0	0	8,88E-16	0	0	7,11E-15	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	8,67E-19	0	1,08E-19	-1,08E-19
MS93018b	0	0	0	1,78E-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	0	0	1,08E-19	0

Tabla B.15. Continuación: resultados de Cambio de Masa (dm_i) considerando la muestra precursora MS60ag considerando cada elemento en la cabecera como conservado para las muestras del Flujo AB de Shore (1996).

Conservado	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	V	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Ba
PONT0001	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
MS93Ltag	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	5,55E-17	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	4,34E-19	0	0	0
MS910001	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
MS910002	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
MS910003	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
MS910004	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	-5,55E-17	0	0	0	0	-1,73E-18	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
MS910005	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
MS910006	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	5,55E-17	-6,94E-18	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
MS910009	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
MS910010	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	-1,73E-18	0	8,67E-19	0	4,34E-19	0	0	0
MS910011	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	-1,73E-18	0	8,67E-19	0	4,34E-19	0	0	0
MS910012	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
MS910013	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	-1,73E-18	2,78E-17	8,67E-19	0	0	0	0	0
MS910014	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	-1,73E-18	0	0	8,67E-19	1,36E-20	0	0	0	0
MS910015	0	0	0	0	0	7,11E-15	8,88E-16	0	-6,94E-18	0	0	0	-1,73E-18	0	8,67E-19	0	0	0	0	4,34E-19
ms0008ag	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	2,17E-19	0
ms0015ag	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
ms0015bg	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
ms0016ag	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	6,94E-18	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
ms0020ag	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
ms0023ag	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	3,47E-18	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
ms0044ag	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	4,34E-19	0	-2,17E-19	0
ms0069ag	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	2,78E-17	8,67E-19	0	0	0	0	0
AX000010	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	-2,17E-19	0
AX00011a	0	0	0	0	0	0	1,78E-15	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
AX00011b	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0
AX000013	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	4,34E-19
AX960001	0	0	0	0	0	0	8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	0

Tabla B.16. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) considerando la muestra precursora M80 y cada elemento como conservado para las muestras del Flujo de lava de Smith (1981).

Conservado	Techo				Capa Masiva	
	M76	M77	M79	M37	M74	M75
SiO2	0	0	0	0	0	0
Al2O3	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16
FeO	-1,78E-15	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0
Na2O	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0
TiO2	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16
P2O5	0	0	0	2,78E-17	0	0
MnO	2,78E-17	0	0	2,78E-17	0	2,78E-17
H2OM	0	0	0	0	0	0
H2Om	0	0	0	0	0	0
CO2	0	0	0	0	0	0

Tabla B.17. Resultados de Cambio de Masa (dm_i) considerando las muestras precursoras MI58 y MI46, y cada elemento como conservado para las muestras de la Formación Santiago de Romeuf (1994).

Precursora Litología	MI58										MI46		
	PL	PL	PL	PL	CP	CP	CP	IG	Sill	CM	CM	CM	
Secundaria	MI33	MI34	MI60	MI61	MI50	MI53	MI54	MI52	MI39	MI49	MI56	MI65	
SiO2	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15
TiO2	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16
Al2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,55E-15	-3,55E-15	-3,55E-15
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16
MnO	0	1,39E-17	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17
MgO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16
Na2O	-8,88E-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	2,78E-17	2,78E-17	2,78E-17	2,78E-17	2,78E-17	2,78E-17	2,78E-17	2,78E-17	2,78E-17	2,78E-17	-5,55E-17	-5,55E-17	-5,55E-17
H2OM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4,44E-16	-8,88E-16	-4,44E-16
H2Om	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rb	0	0	0	0	-4,34E-19	0	-4,34E-19	0	0	0	0	0	0
Sr	0	0	0	0	6,94E-18	0	0	0	6,94E-18	0	-6,94E-18	-6,94E-18	-6,94E-18
Ba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2,78E-17	-2,78E-17	-2,78E-17
Co	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19
Cu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	0	0	0
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6,94E-18	-6,94E-18	-6,94E-18
Zn	0	0	-8,67E-19	0	0	0	-8,67E-19	0	0	0	0	-8,67E-19	-8,67E-19
Nb	0	0	0	0	5,42E-20	0	0	0	0	0	0	0	0
Zr	0	0	0	0	0	8,67E-19	0	0	0	0	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19
Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19
La	0	0	-4,34E-19	0	0	0	0	0	0	0	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19
Ce	0	0	0	-4,34E-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nd	0	0	0	4,34E-19	0	0	4,34E-19	0	4,34E-19	0	-2,17E-19	0	-2,17E-19
Sm	0	0	-1,08E-19	0	0	0	0	0	0	0	0	-5,42E-20	-5,42E-20
Eu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gd	0	0	-1,08E-19	-1,08E-19	0	0	0	0	0	0	-5,42E-20	-5,42E-20	0
Dy	0	0	1,08E-19	0	0	0	0	0	0	0	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20
Yb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5,42E-20	-2,71E-20	0
Lu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,39E-21	-3,39E-21	-3,39E-21

Tabla B.17. Continuación: resultados de Cambio de Masa (dm_i) considerando las muestras precursoras MI106, considerando cada elemento como conservado para las muestras de la Formación Misahualli del Norte de Romeuf (1994).

	MI097	MI098	MI100	MI101	MI102	MI103	MI105	MI188	MI090	MI118	MI120	MI123	MI124	MI141A	MI141B	MI143	MI246	MI247	MI245
SiO2	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15	-7,11E-15
TiO2	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16
Al2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16
FeO	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16
MnO	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17
MgO	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	0	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16
CaO	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16
Na2O	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-1,33E-15	-1,33E-15	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16
K2O	0,00E+00	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	0	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16
P2O5	-5,55E-17	0	-5,55E-17	0	0	-5,55E-17	-5,55E-17	-5,55E-17	-5,55E-17	-5,55E-17	-5,55E-17	-5,55E-17	-5,55E-17	-5,55E-17	-5,55E-17	0	-5,55E-17	-5,55E-17	-5,55E-17
H2OM	-4,44E-16	-4,44E-16	-8,88E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16
H2Om	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-2,78E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17
Rb	0	-8,67E-19	-8,67E-19	0	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19
Sr	-1,39E-17	-1,39E-17	0	0	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17
Ba	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	0	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	0	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17	-1,39E-17
Co	-8,67E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	0	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	0	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19
Cu	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19
Cr	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	0
Ni	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19
V	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18
Zn	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19
Nb	0	-1,08E-19	-2,17E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,08E-19
Zr	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18
Y	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19
La	0	0	0	0	0	0	-4,34E-19	-4,34E-19	0	0	0	0	0	0	0	-4,34E-19	-4,34E-19	0	0
Ce	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	0	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-1,30E-18	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19
Nd	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	0,00E+00	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	-4,34E-19	0	-4,34E-19	-4,34E-19	0	-4,34E-19
Sm	-5,42E-20	-5,42E-20	-1,08E-19	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20
Eu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gd	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	0	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-1,63E-19	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20
Dy	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20
Yb	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20	-2,71E-20
Lu	-6,78E-21	0	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21	-6,78E-21

Tabla B.17. Continuación: resultados de Cambio de Masa (dm_i) considerando las muestras precursoras MI234, considerando cada elemento como conservado para las muestras de la Formación Misahualli del Sur de Romeuf (1994).

	MI200	MI210	MI212	MI233	MI221	MI173	MI167	MI162	MI160	MI156
SiO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TiO2	0	0	0	0	-1,11E-16	0	0	0	0	0
Al2O3	3,55E-15	3,55E-15	3,55E-15	3,55E-15	3,55E-15	3,55E-15	3,55E-15	3,55E-15	3,55E-15	3,55E-15
Fe2O3	0	0	0	0	0	-8,88E-16	0	0	0	0
FeO	0	0	4,44E-16	0	-4,44E-16	0	0	0	0	0
MnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	8,88E-16	0	-8,88E-16	0	0	8,88E-16	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	4,44E-16	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H2OM	0	4,44E-16	0	4,44E-16	4,44E-16	0	0	0	4,44E-16	0
H2Om	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rb	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19
Sr	0	0	0	0	-1,39E-17	0	0	0	0	1,39E-17
Ba	0	0	0	0	0	0	0	1,39E-17	0	0
Co	0	-4,34E-19	0	0	-4,34E-19	0	-4,34E-19	0	-4,34E-19	0
Cu	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	2,17E-19	0
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nb	1,08E-19	-1,08E-19	0	0	0	0	0	0	0	-1,08E-19
Zr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla B.17. Continuación: resultados de Cambio de Masa (dm_i) considerando las muestras precursoras CHA53, considerando cada elemento como conservado para las muestras de la Formación Chala de Romeuf (1994).

	CHA124	CHA138	CHA125	CHA170	CHA168	CHA129	CHA166	PE0007	CHA056	CHA057	CHA055	CHA050	CHA059
SiO2	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15	7,11E-15
TiO2	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16
Al2O3	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15
Fe2O3	1,78E-15	1,78E-15	0	1,78E-15	1,78E-15	0	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15	1,78E-15
FeO	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17
MnO	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	0	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16	2,22E-16
MgO	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16
CaO	0	0	0	0	4,44E-16	0	0	0	0	0	0	0	0
Na2O	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16	8,88E-16
K2O	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	8,88E-16	4,44E-16	4,44E-16
P2O5	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17	5,55E-17
H2OM	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	8,88E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16	4,44E-16
H2Om	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16	1,11E-16
Li	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19
Rb	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	0	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18
Sr	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	6,94E-18	3,47E-18	3,47E-18	0	0	6,94E-18	0	0	3,47E-18	3,47E-18
Ba	2,78E-17	2,78E-17	2,78E-17	2,78E-17	2,78E-17	2,78E-17	0	2,78E-17	2,78E-17	0	2,78E-17	2,78E-17	2,78E-17
Co	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	0	8,67E-19	8,67E-19	0	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19	8,67E-19
Cu	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19
Cr	6,94E-18	3,47E-18	3,47E-18	6,94E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18
Ni	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	0	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18	1,73E-18
V	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18
Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	1,39E-17	0	0	0	0
Nb	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19	2,17E-19
Zr	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	0	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18
Y	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19
La	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19	4,34E-19
Ce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nd	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18	3,47E-18
Sm	0	1,08E-19	1,08E-19	2,17E-19	0	0	1,08E-19	2,17E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19
Eu	2,71E-20	2,71E-20	2,71E-20	2,71E-20	2,71E-20	5,42E-20	2,71E-20	2,71E-20	5,42E-20	2,71E-20	2,71E-20	0	0
Gd	2,17E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19
Dy	1,08E-19	0	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	0	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	1,08E-19	0
Yb	5,42E-20	5,42E-20	5,42E-20	5,42E-20	5,42E-20	5,42E-20	5,42E-20	5,42E-20	5,42E-20	5,42E-20	5,42E-20	5,42E-20	5,42E-20

Tabla B.17. Continuación: resultados de Cambio de Masa (dm_i) considerando las muestras precursoras OY13, considerando cada elemento como conservado para las muestras de la Formación Colán de Romeuf (1994).

	OY03	OY10	OY11
SiO2	-2,84E-14	-2,84E-14	-2,84E-14
TiO2	-4,44E-16	-4,44E-16	-4,44E-16
Al2O3	-1,07E-14	-1,07E-14	-7,11E-15
Fe2O3	-1,33E-15	-1,33E-15	-1,33E-15
FeO	-2,66E-15	-2,66E-15	-2,66E-15
MnO	-1,11E-16	-1,11E-16	-1,11E-16
MgO	-2,66E-15	-2,66E-15	-2,66E-15
CaO	-4,44E-15	-4,44E-15	-4,44E-15
Na2O	-1,78E-15	-1,78E-15	-1,78E-15
K2O	-8,88E-16	-8,88E-16	-8,88E-16
P2O5	-1,11E-16	-8,33E-17	-8,33E-17
H2OM	-1,33E-15	-1,33E-15	-1,33E-15
H2Om	-4,16E-17	-4,16E-17	-4,16E-17
Rb	-2,60E-18	-2,60E-18	-2,60E-18
Sr	-2,08E-17	-2,08E-17	-2,08E-17
Ba	-3,47E-17	-3,47E-17	-3,47E-17
Co	-1,73E-18	-1,73E-18	-1,73E-18
Cu	-5,20E-18	-5,20E-18	-5,20E-18
Cr	-3,47E-18	-3,47E-18	-3,47E-18
Ni	-2,60E-18	-2,60E-18	-2,60E-18
V	-1,04E-17	-1,04E-17	-1,04E-17
Zn	-5,20E-18	-5,20E-18	-5,20E-18
Nb	-1,08E-19	-1,08E-19	-1,36E-19
Zr	-5,20E-18	-5,20E-18	-5,20E-18
Y	-1,30E-18	-1,30E-18	-1,30E-18
La	-8,67E-19	-8,67E-19	-8,67E-19
Ce	-1,30E-18	-1,30E-18	-1,30E-18
Nd	-6,51E-19	-6,51E-19	-6,51E-19
Sm	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19
Eu	-5,42E-20	-5,42E-20	-5,42E-20
Gd	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19
Dy	-2,17E-19	-2,17E-19	-2,17E-19
Yb	-1,08E-19	-1,08E-19	-8,13E-20
Lu	-1,69E-20	-1,69E-20	-1,69E-20

Anexo C. Representación gráfica de resultados de Isomasas a partir de resultados desplegados en el Anexo D.

En este Anexo se muestran los resultados obtenidos con la metodología Isomasas. En ellos se observa el Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) en las ordenadas y los elementos químicos en la abcisa.

En algunos casos se muestran gráficos considerando otros elementos como conservados, para comparación y discusión.

Figura C.1. Jiag et al. 2018.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora WC57 y los elementos TiO_2 , Hf, Al_2O_3 y Ga como conservados para las muestras de Jiag et al (2018). El recuadro muestra el nivel de suelo representado: Suelo, Saprolita, Basalto Semimeteorizado y Basalto.

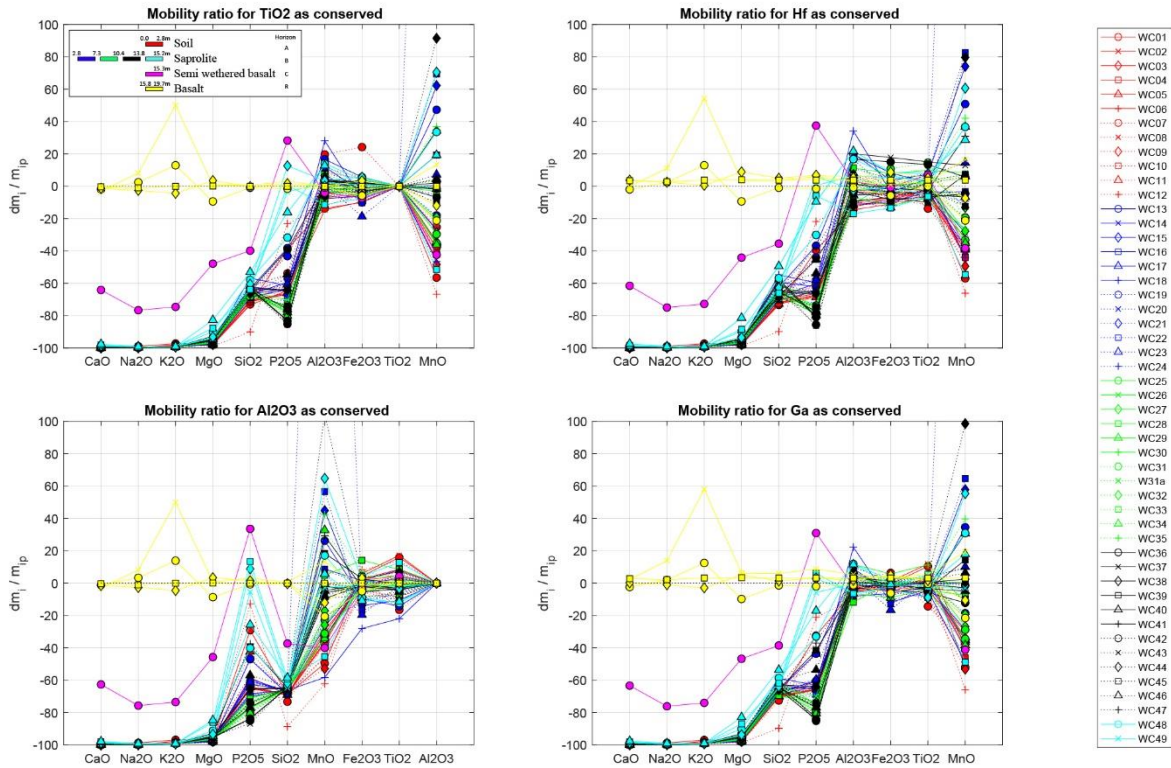


Figura C.2. Liu et al. 2016

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora JNLR004 y el elemento Al_2O_3 y FeO como conservados para las muestras de Liu et al (2006). La leyenda muestra el nivel en metros desde la superficie del suelo hasta la roca madre, para dos perfiles del autor.

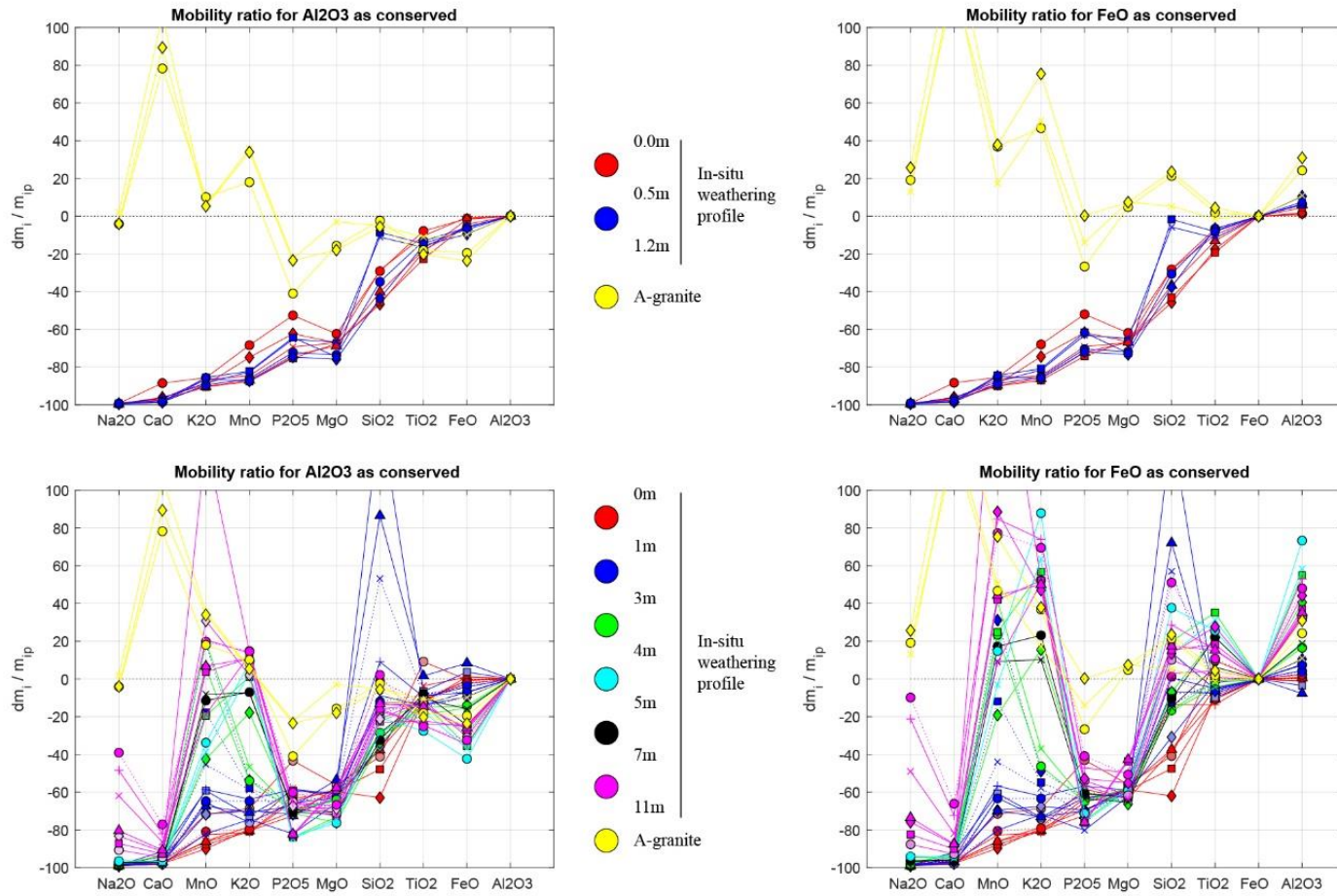


Figura C.3. Condie et al. 1995

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora CR120 y el elemento Yb como conservado para las muestras de Condie et al (1995). La leyenda representa la distancia relativa entre la zona más lejana al contacto de la roca madre CR110-CR120.

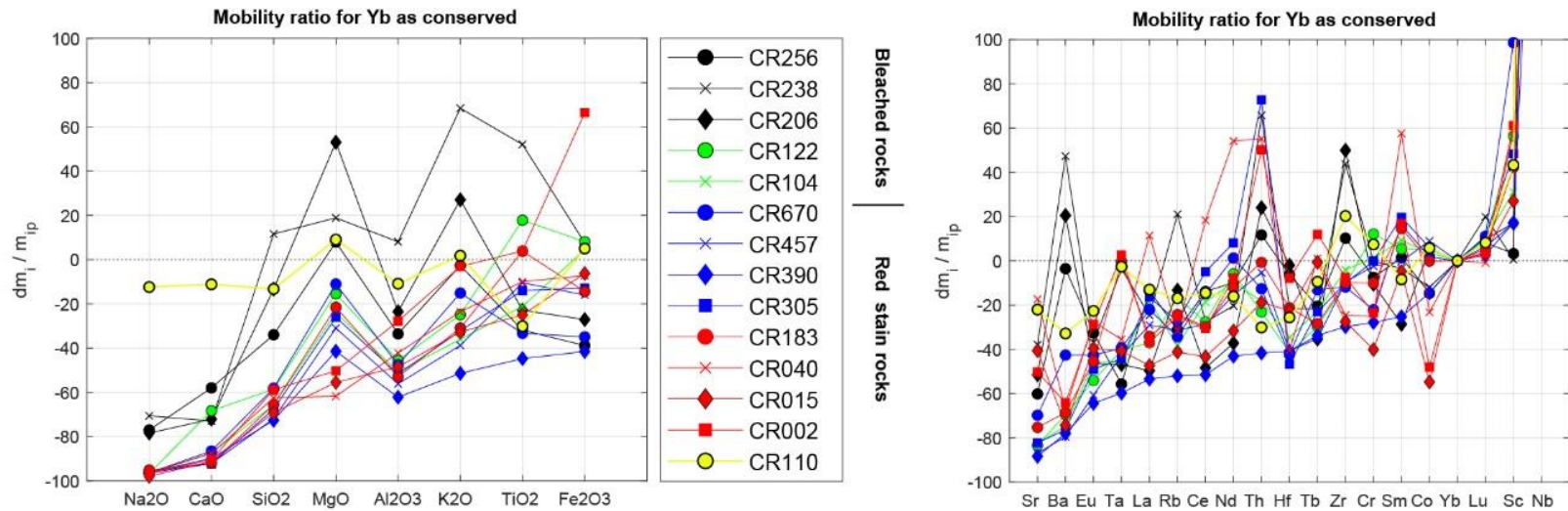


Figura C.4. Magloughlin 1992

Tabla B.4. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra Esquisto precursora y el elemento MgO como conservado para las muestras de Magloughlin (1992). La leyenda refiere a: PsTachylyte-psuedotaquilita, Glass-vidrio, Op. Blebs-burbujas opacas, Dark Halos-halos oscuros, Catacl. Matrix – matriz cataclástica.

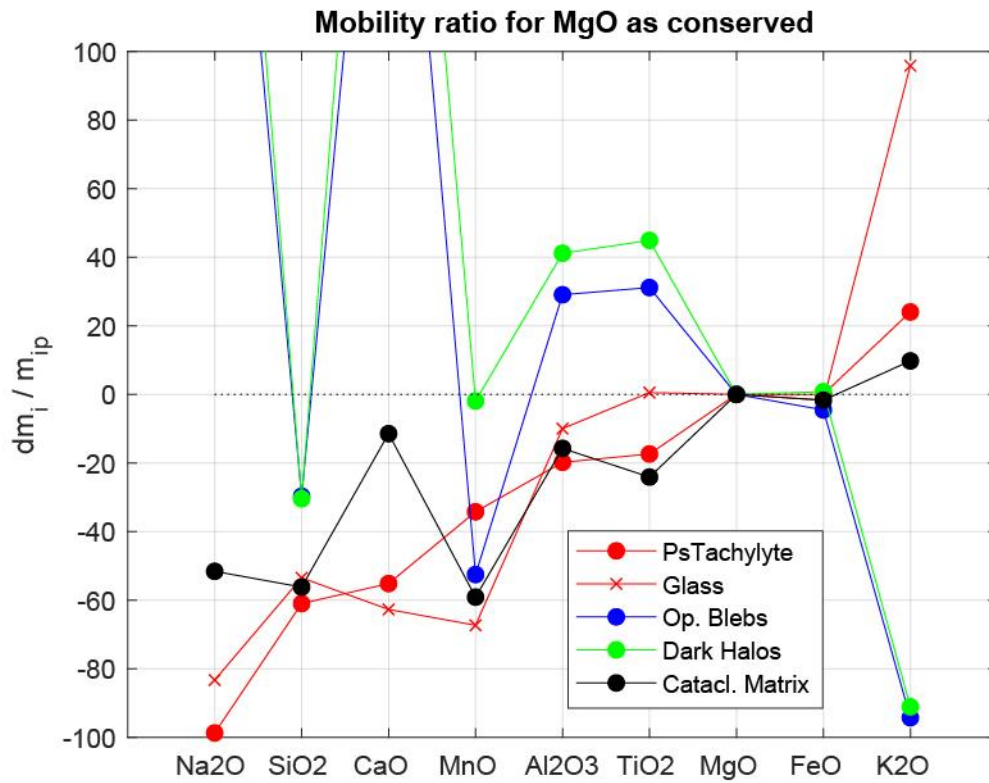


Figura C.5.1. Goddard 1993.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora EF01 y el elemento en cada título como conservado para las muestras de Goddard (1993) representativas del Sistema de Fallas East Fork.

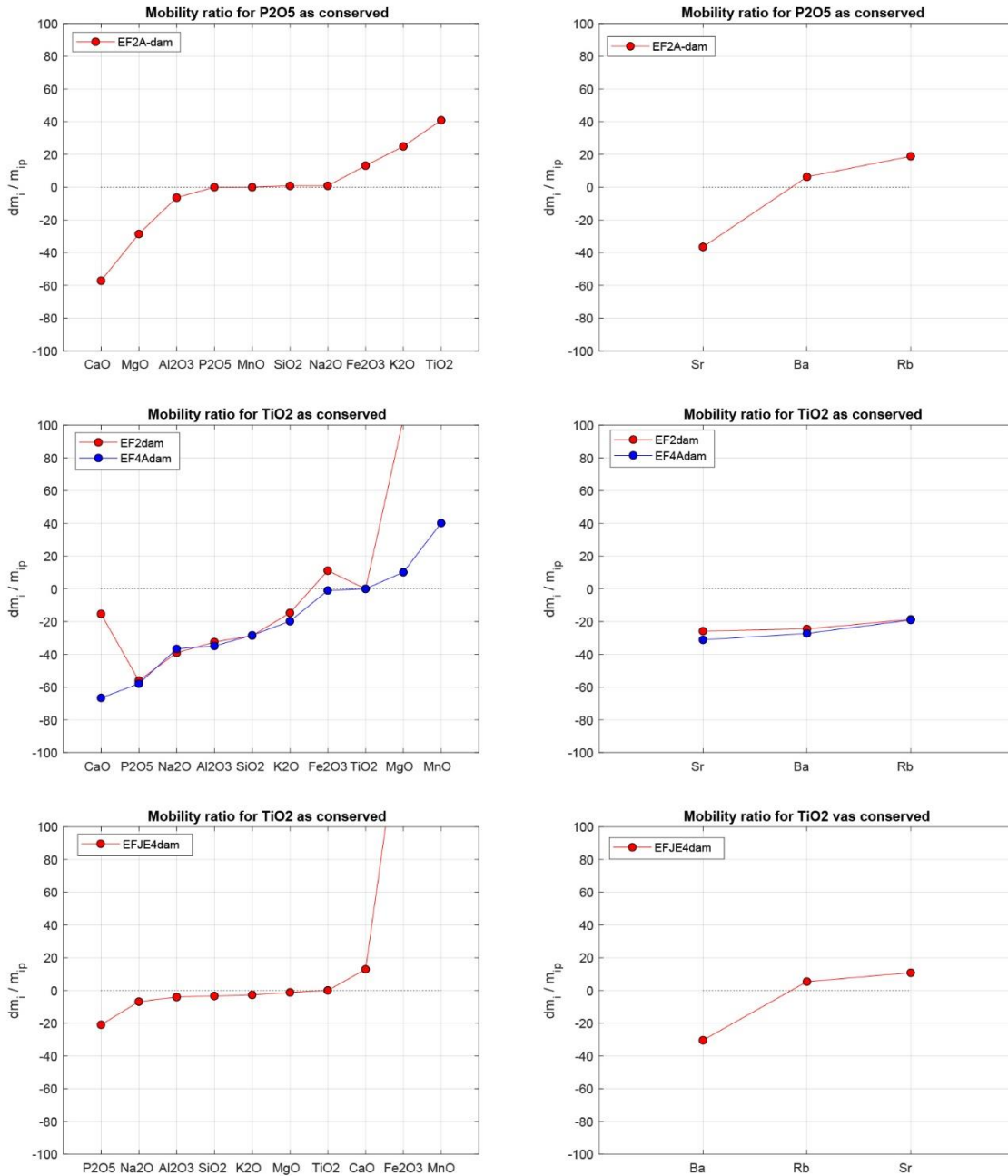


Figura C.5.1. Goddard 1993. Continuación

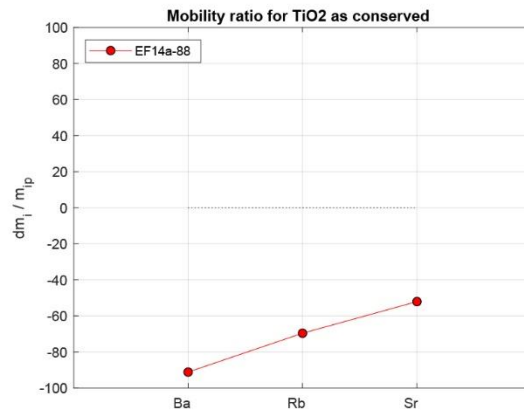
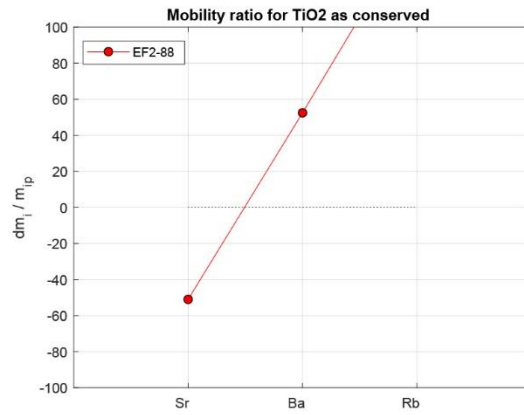
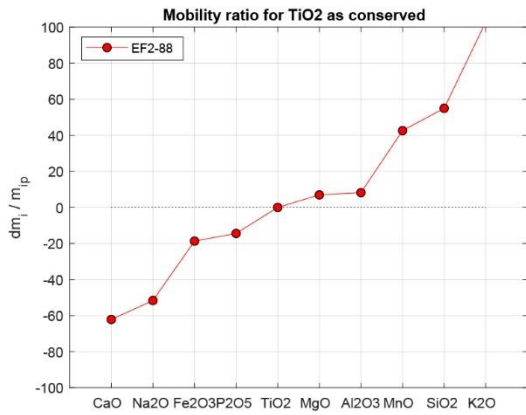
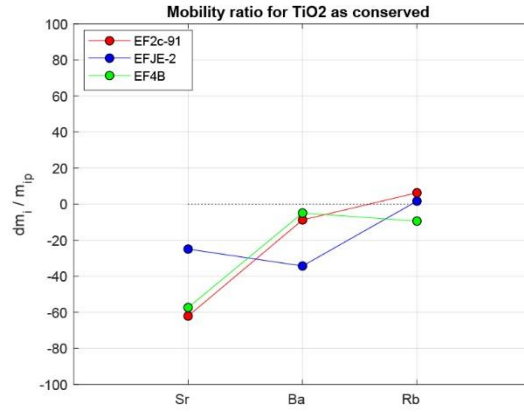
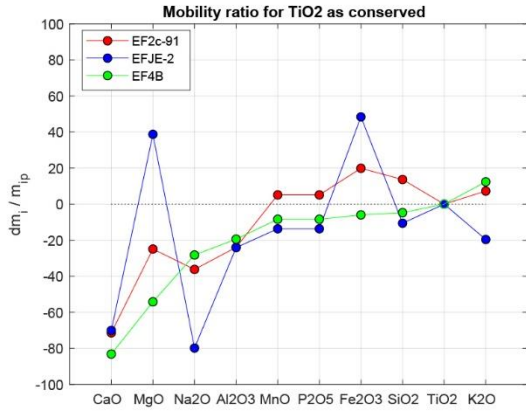


Figura C.5.2. Goddard 1993.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora WR01 y el elemento en cada título como conservado para las muestras de Goddard (1993) representativas del Sistema de Fallas White Rock.

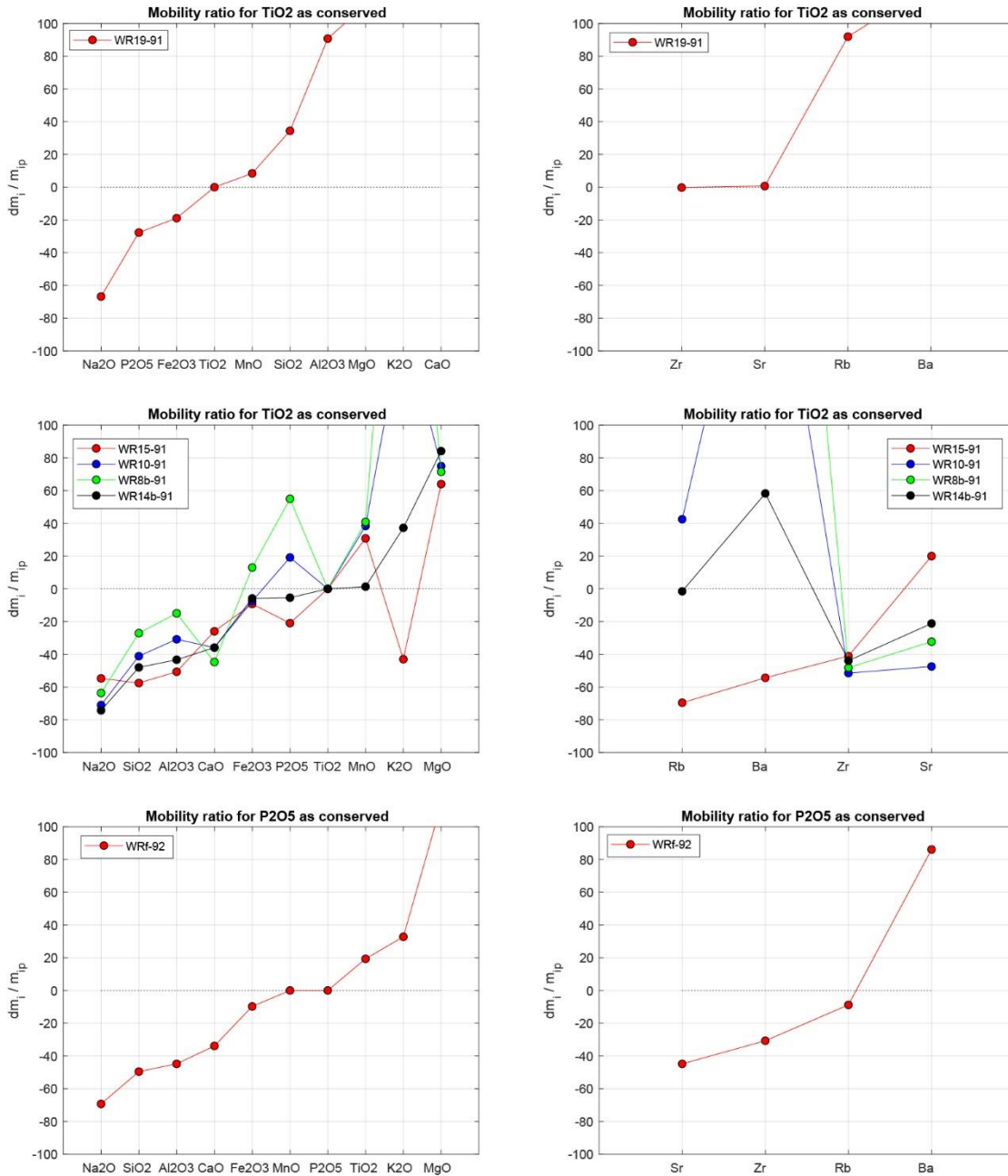


Figura C.5.2. Goddard 1993. Continuación

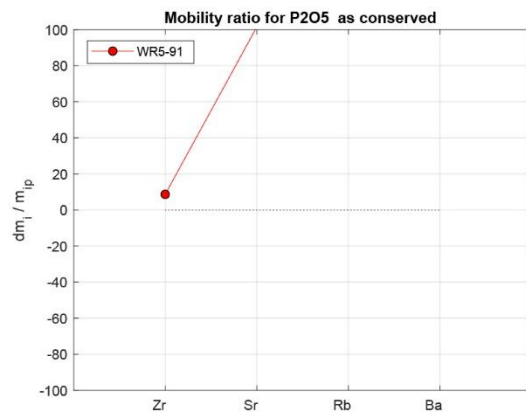
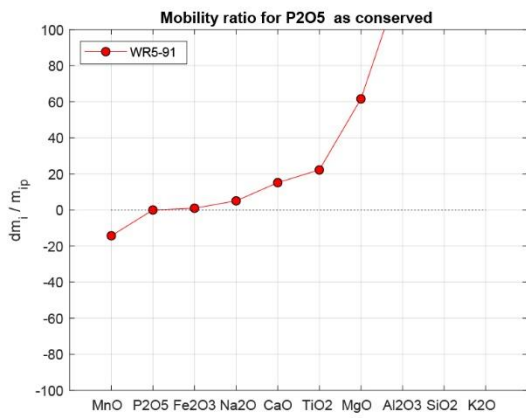
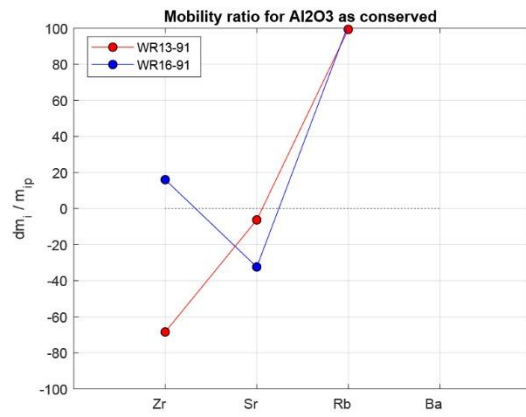
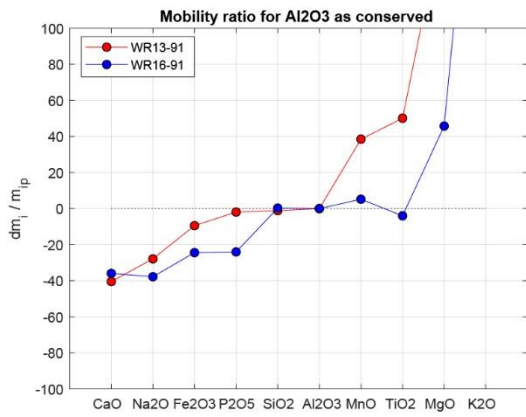
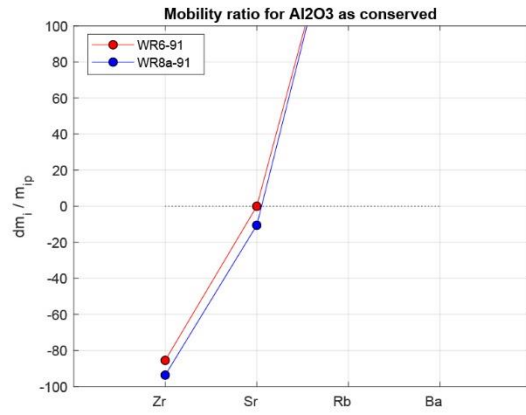
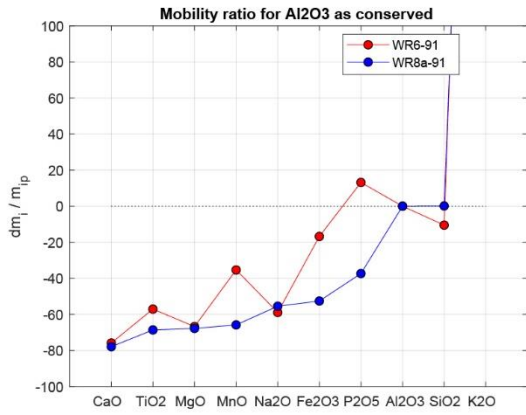


Figura C.6. Aguirre 1988.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora 61024 y el elemento Al_2O_3 como conservado para las muestras de Aguirre (1988). La leyenda indica la altura de cada muestra en la colada de lava de 40m.

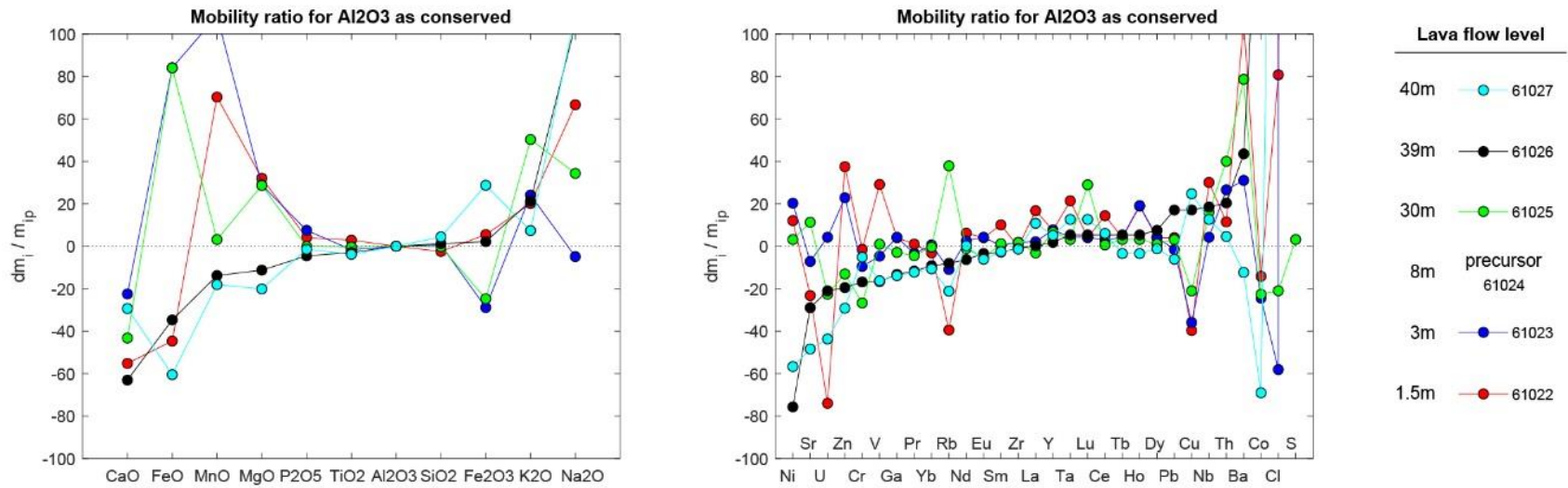


Figura C.7. Ague 1991.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora Shale and Salte (= LutPiz = Lutita pizarrosa) y el elemento Al_2O_3 como conservado para las muestras de Ague (1991). La leyenda refiere a las muestras de Esquisto Verde y de Anfibolita consideradas como relacionadas a la Lutita pizarrosa por el autor.

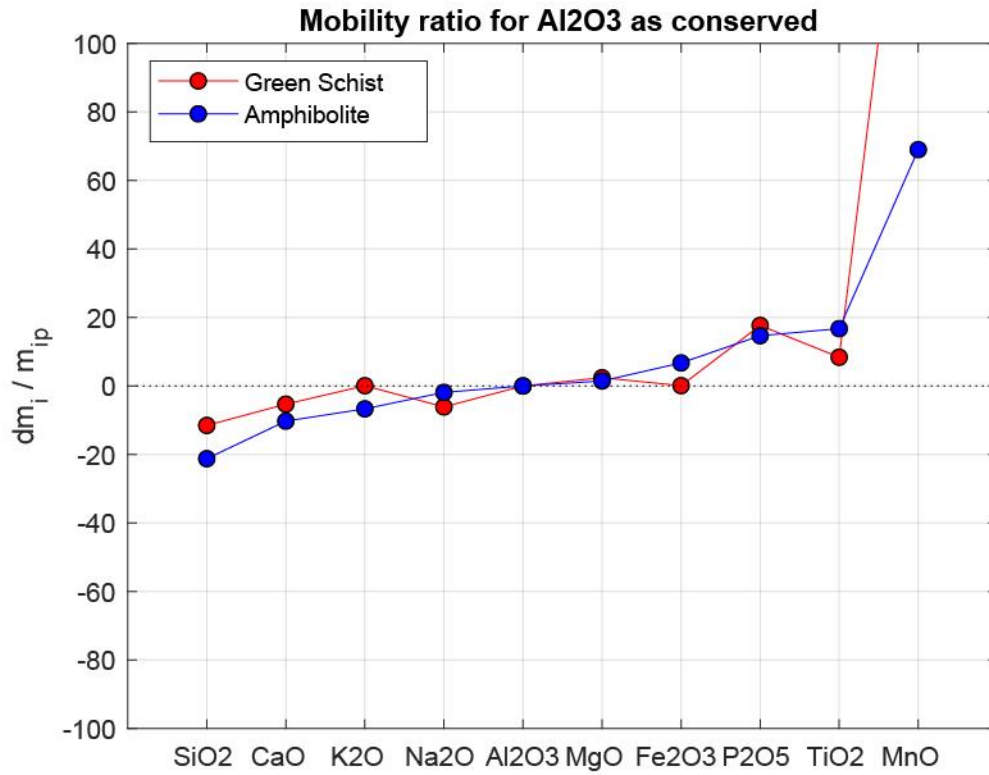


Figura C.8.1. Malviya et al. 2006.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora MBG0708 y los elementos Tb y Er como conservados para las muestras komatiíticas de Malviya et al. (2006).

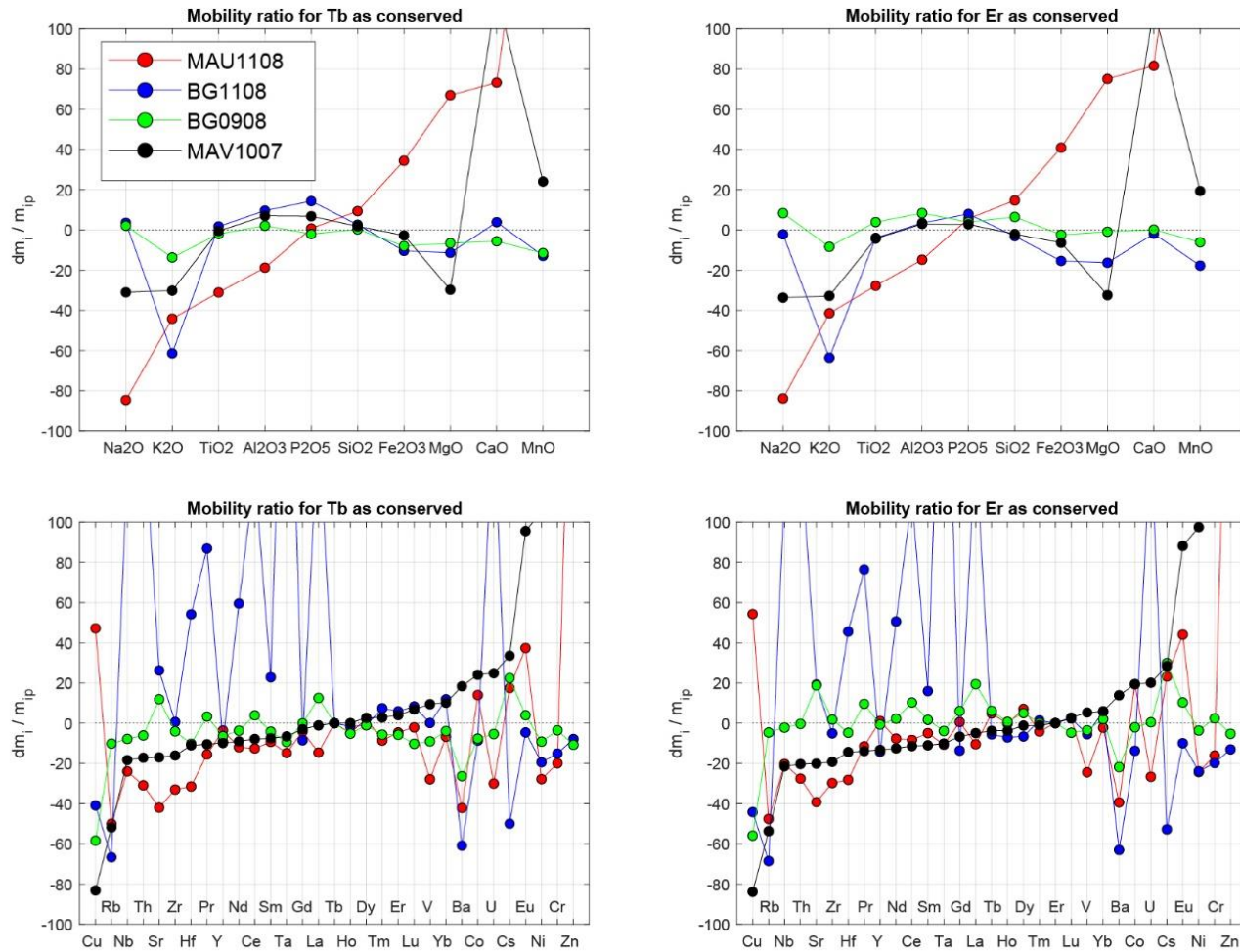


Figura C.8.2. Malviya et al. 2006.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora MBG0708 y los elementos TiO_2 y Zr como conservados para las muestras de lavas almohadilladas de Malviya et al. (2006).

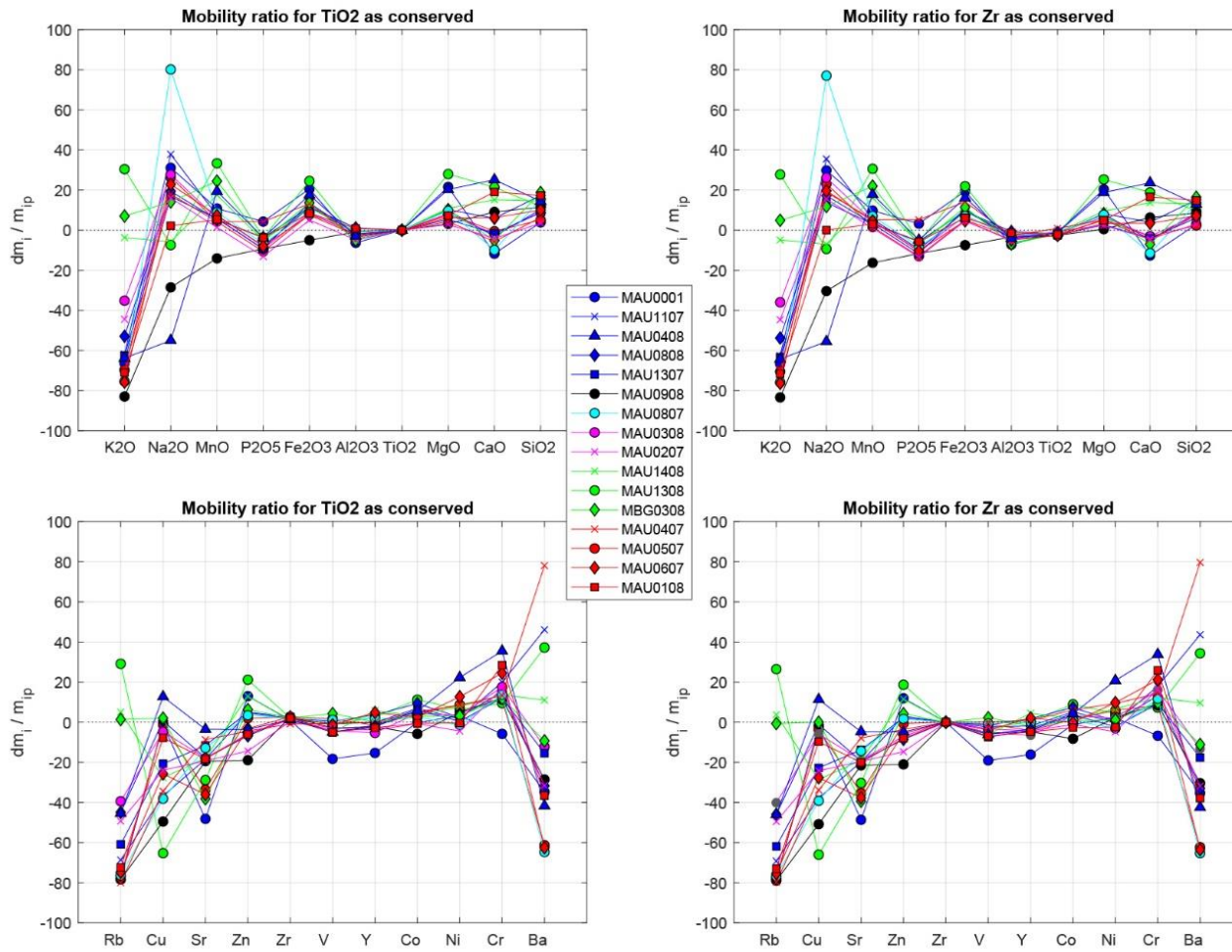


Figura C.9.1. Alderton et al. 1980.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de alteración de Alderton et al. (1980).

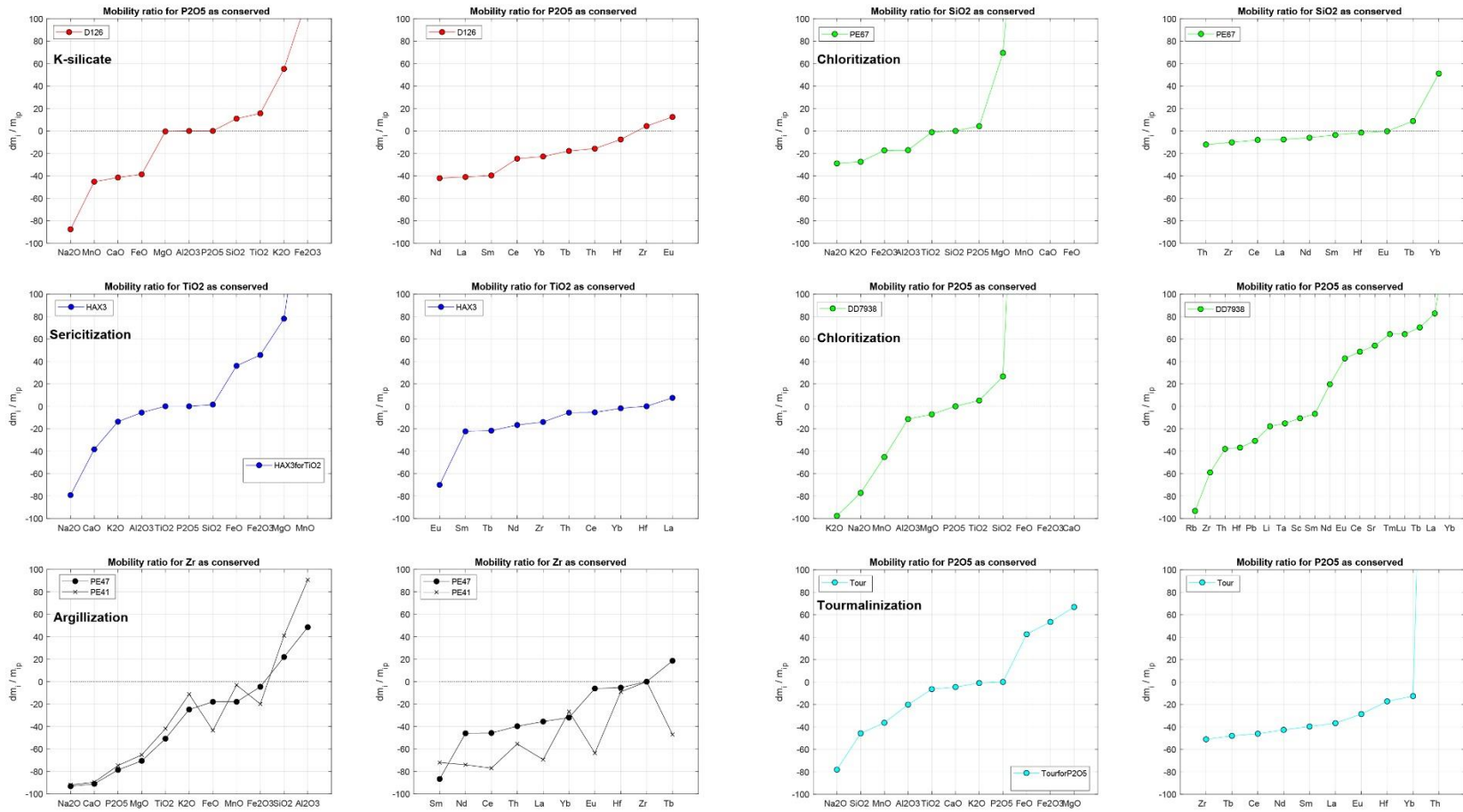


Figura C.9.2. Alderton et al. 1980.

Resumen resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de alteración de Alderton et al. (1980).

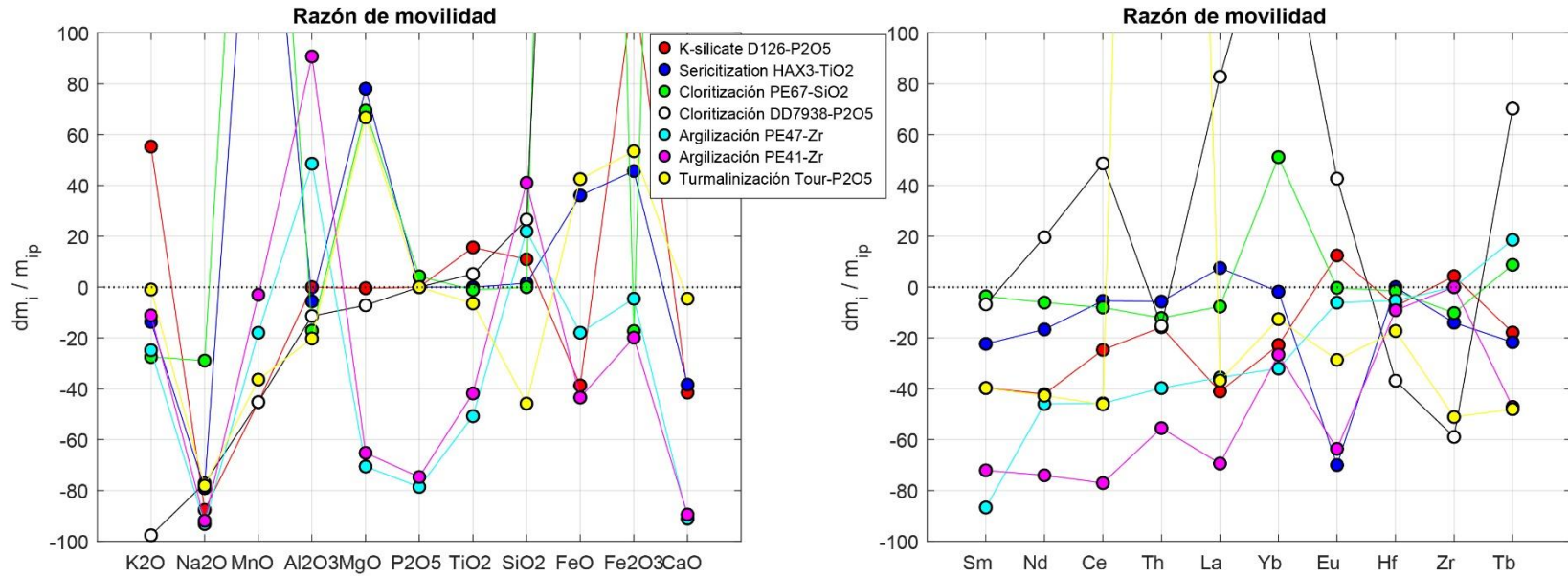


Figura C.10.1. Bach et al. 2001.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de alteración de Bach et al. (2001).

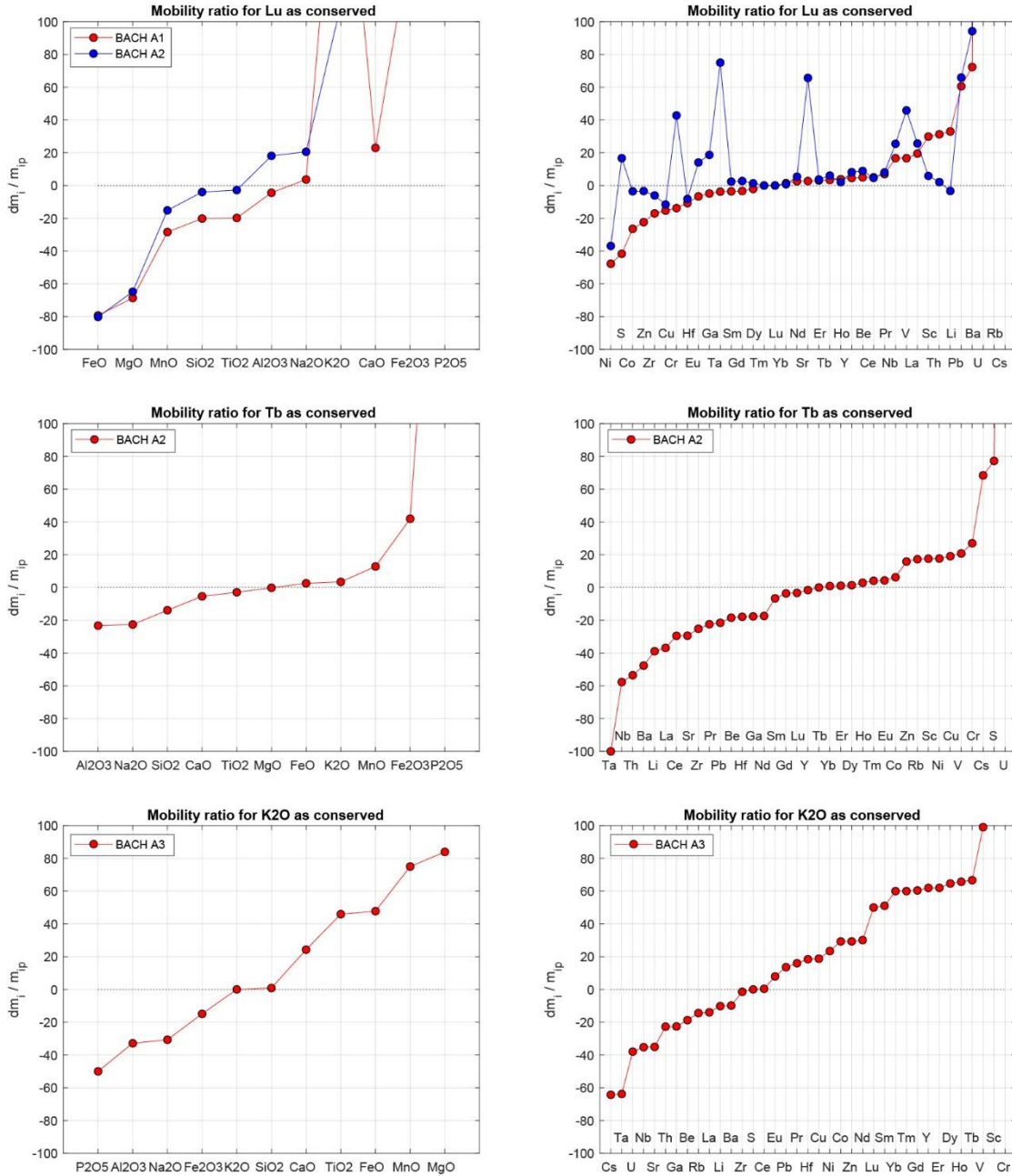


Figura C.10.2. Bach et al. 2001.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de alteración de Bach et al. (2001).

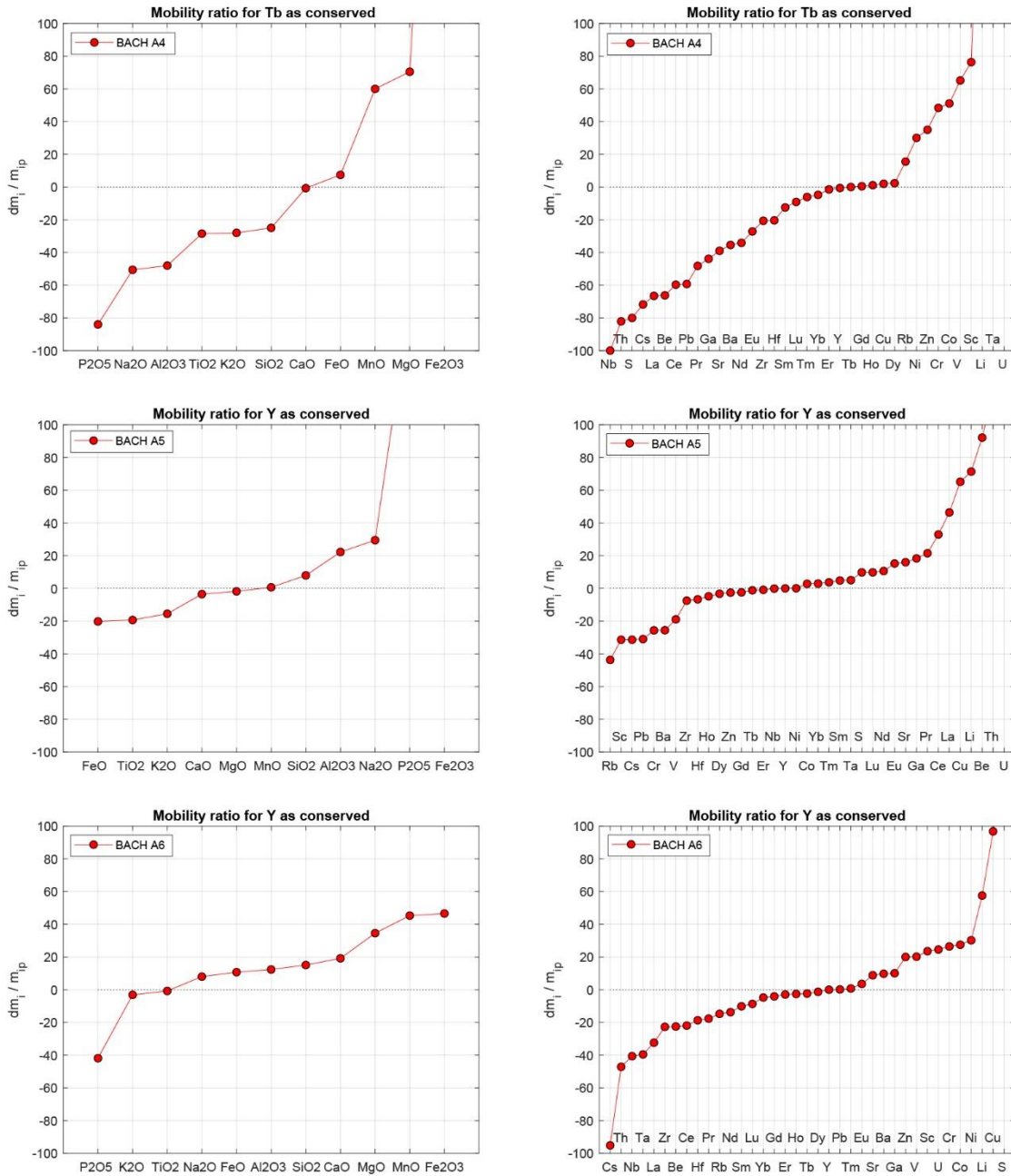


Figura C.10.3. Bach et al. 2001.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de alteración de Bach et al. (2001).

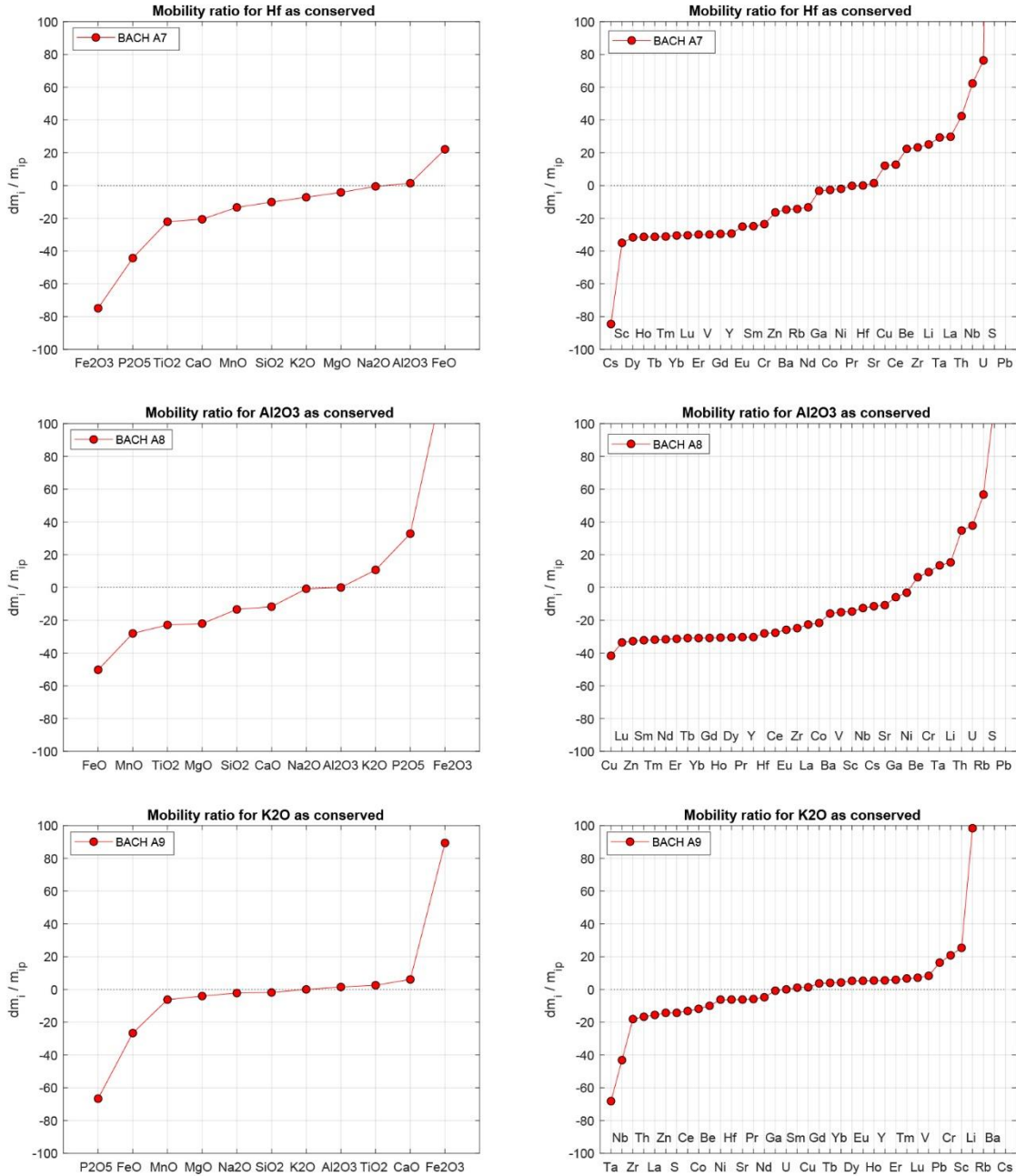


Figura C.10.4. Bach et al. 2001.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de alteración de Bach et al. (2001).

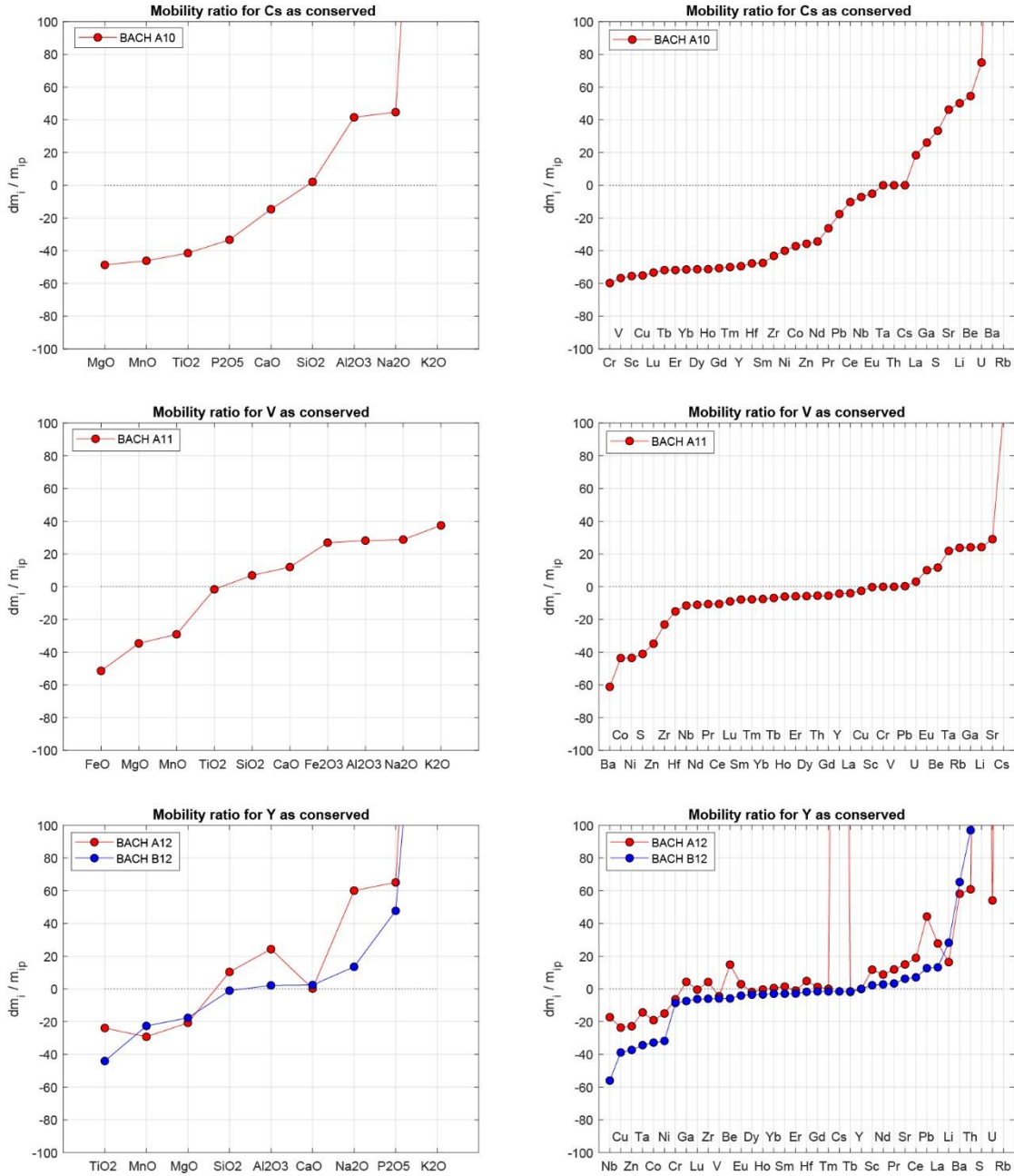


Figura C.10.5. Bach et al. 2001.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de alteración de Bach et al. (2001).

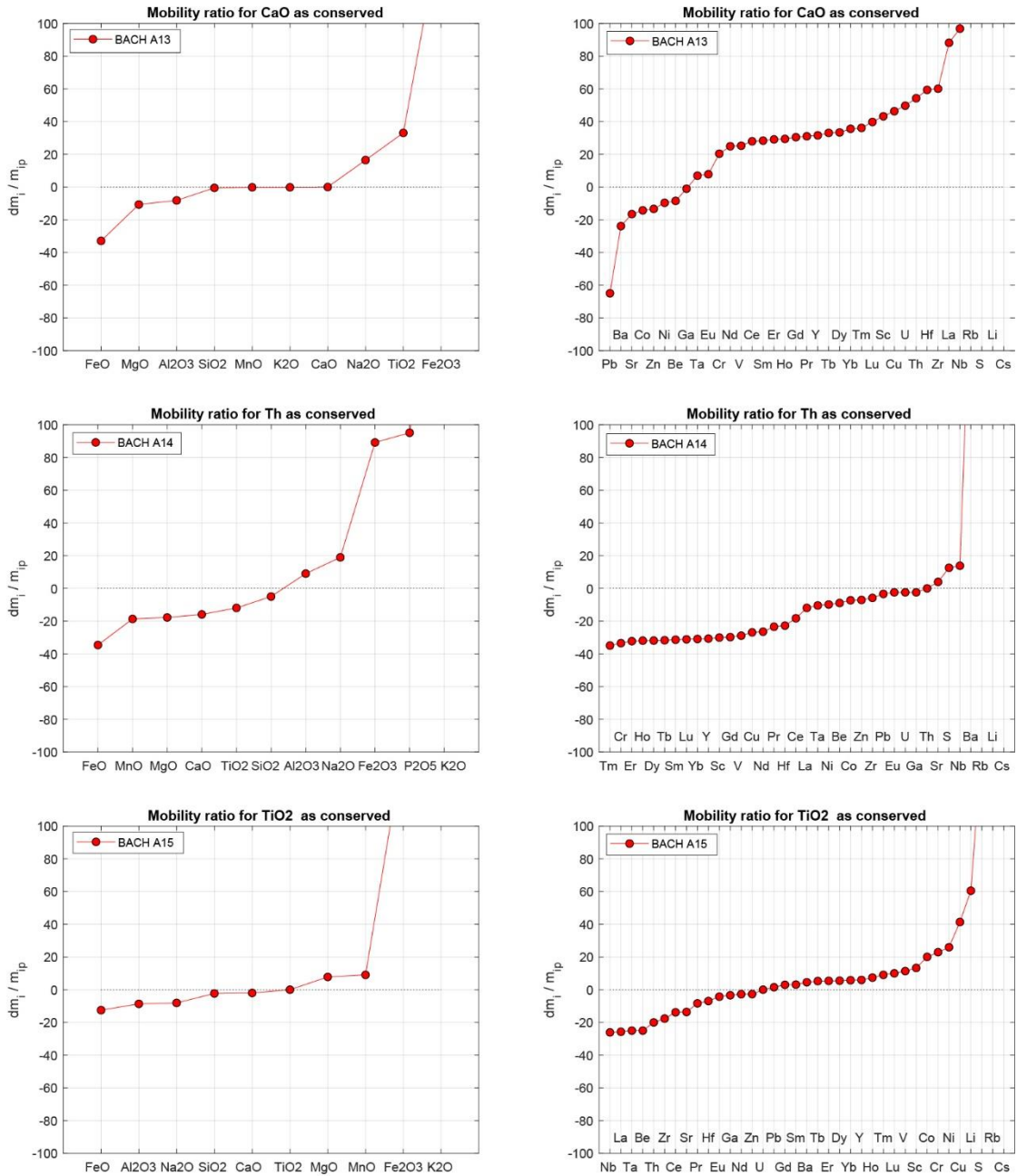


Figura C.10.6. Bach et al. 2001.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de alteración de Bach et al. (2001).

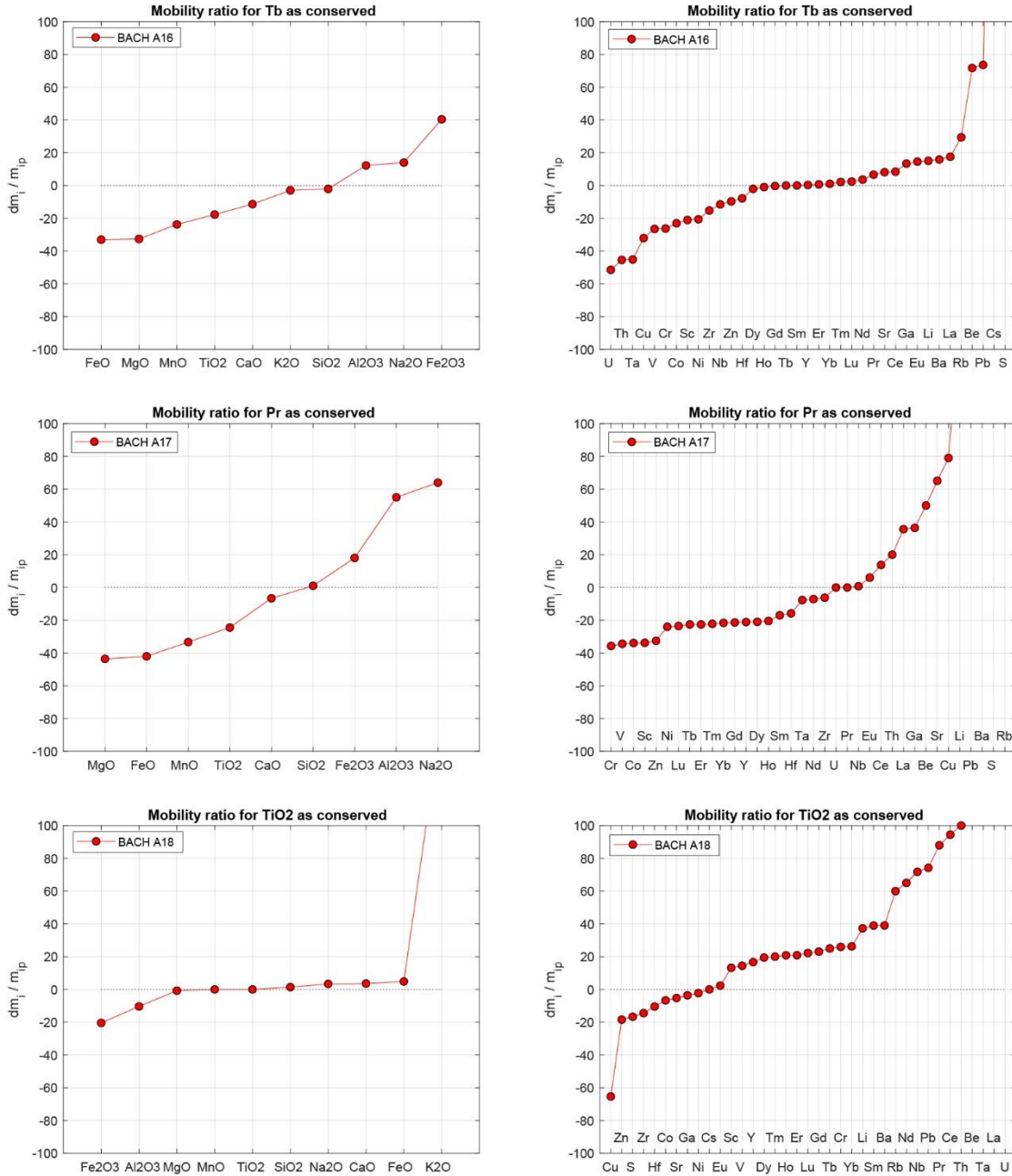


Figura C.10.7. Bach et al. 2001.

Resumen resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de alteración de Bach et al. (2001).

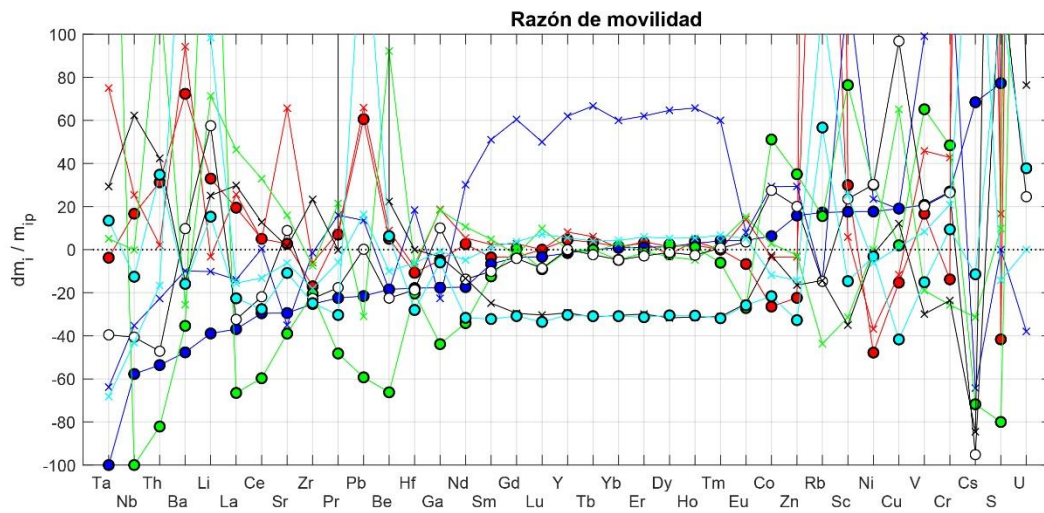
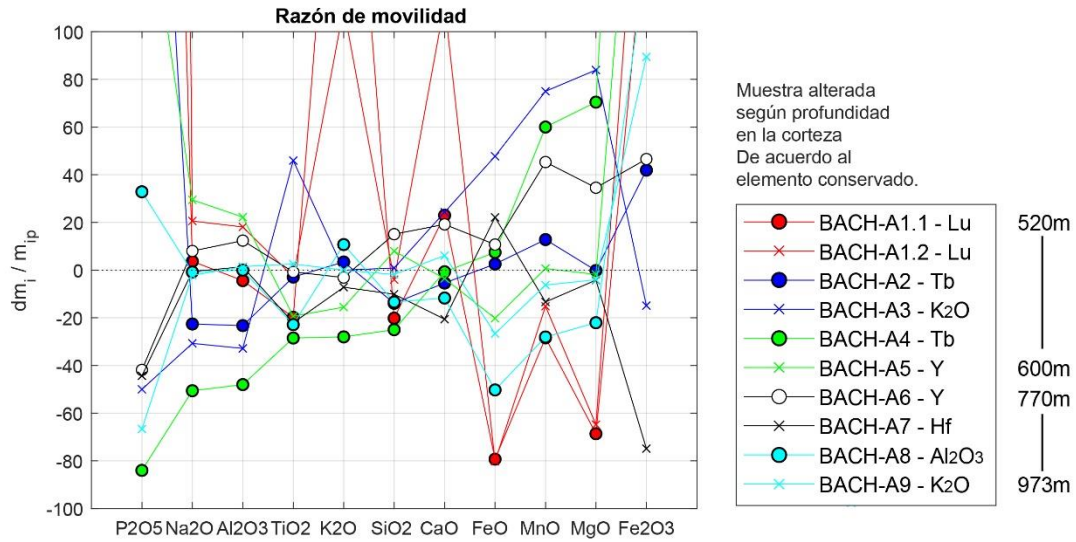


Figura C.11. Christidis 1998.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora SM203 y el elemento Zr como conservado para las muestras del perfil Zoulias de Christidis (1998). El recuadro muestra las zonas determinadas por el autor a lo largo del perfil: “Hacia la zona exterior” desde Zona 2 a Zona 5. En el segundo caso considerando la muestra precursora SM285 y el elemento Zr como conservado para las muestras del perfil Prassa. A lo largo de este perfil se observa roca con incipiente alteración, vidrio levemente alterado y bentonita (recuadro).

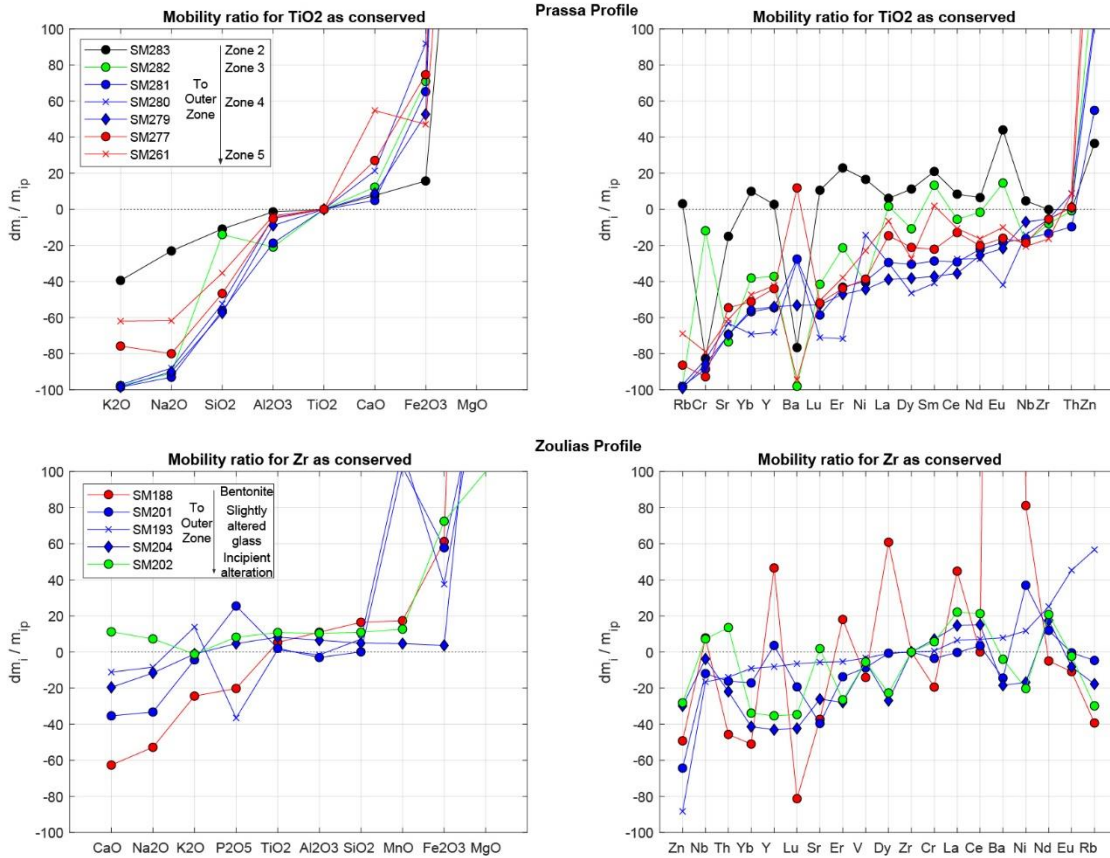


Figura C.12. 1. Oliver et al. 2004.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de Oliver et al. (2004). En cada recuadro indica el nombre de la roca albitizada: Alb-Pelite-pelita albitizada, Alb-Calc-sil-roca calcosilicatada albitizada, Alb-Diorite- diorita albitizada, Alb-qtz-Monz – cuarzo monzonita albitizada, Alb-Amphib – anfibolita máfica metaígneá albitizada, Bt-alb-Diorite – diorita de biotita albitizada.

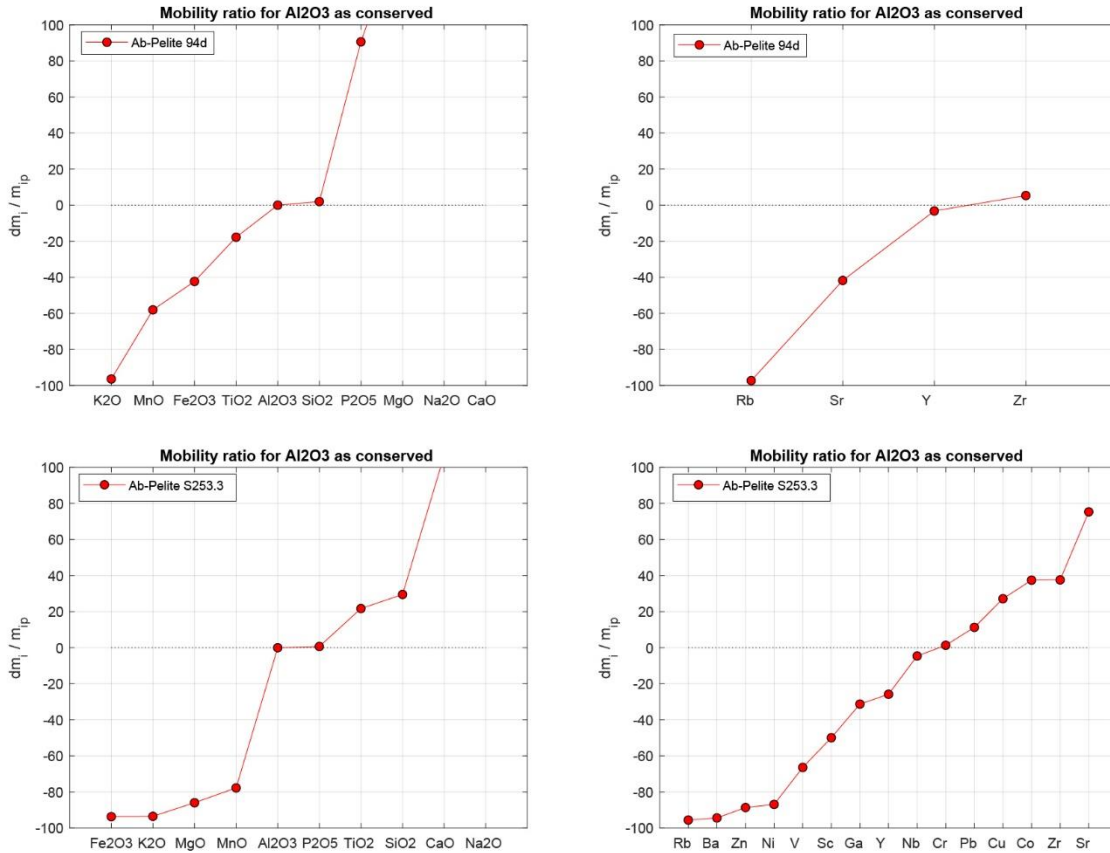


Figura C.12. 1. Oliver et al. 2004. Continuación.

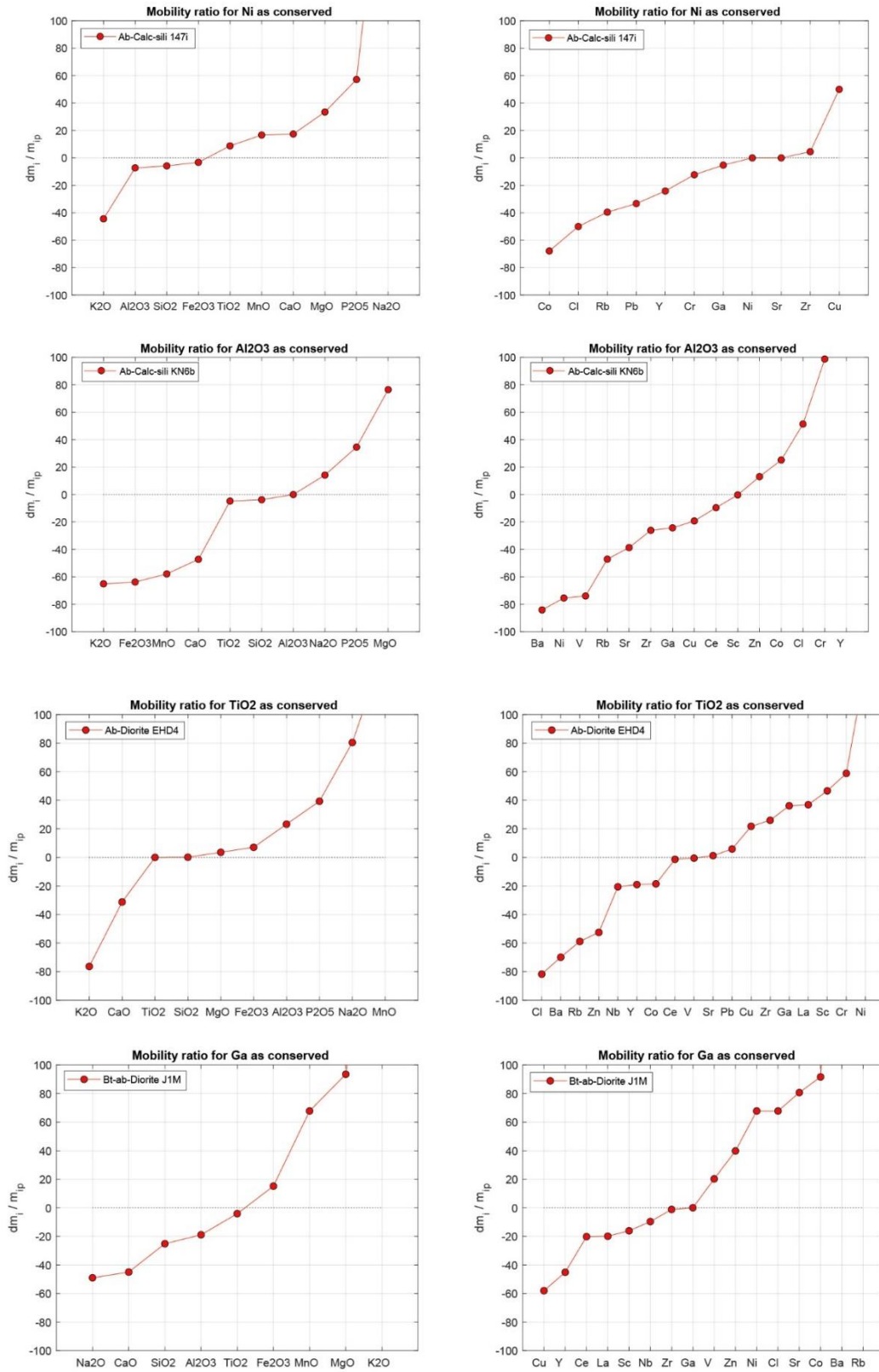


Figura C.12.1. Oliver et al. 2004. Continuación.

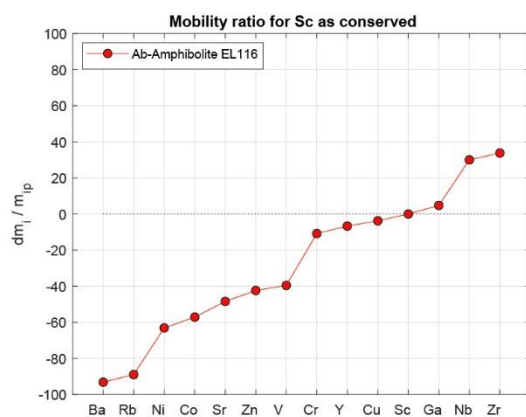
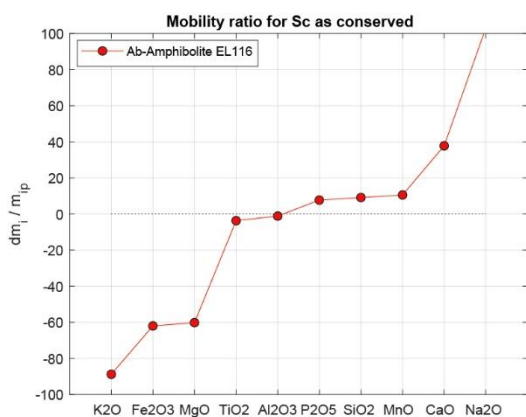
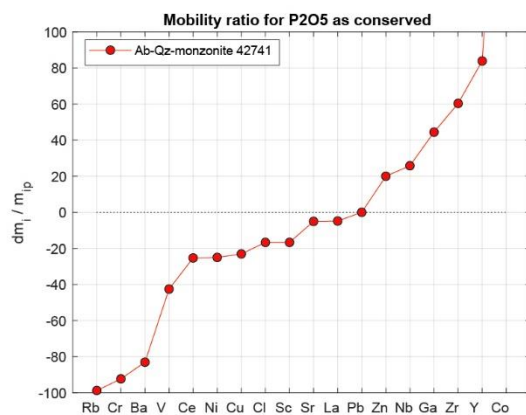
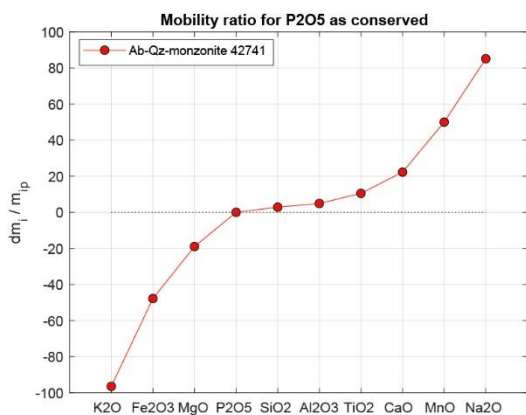


Figura C.12.2. Oliver et al. 2004.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de Oliver et al. (2004). El recuadro indica el nombre de la roca albitizada: Alb-Pelite-pelita albitizada, Alb-Calc-sil-roca calcosilicatada albitizada, Alb-Diorite-diorita albitizada, Alb-qtz-Monz – cuarzo monzonita albitizada, Alb-Amphib – anfibolita máfica metaígneá albitizada.

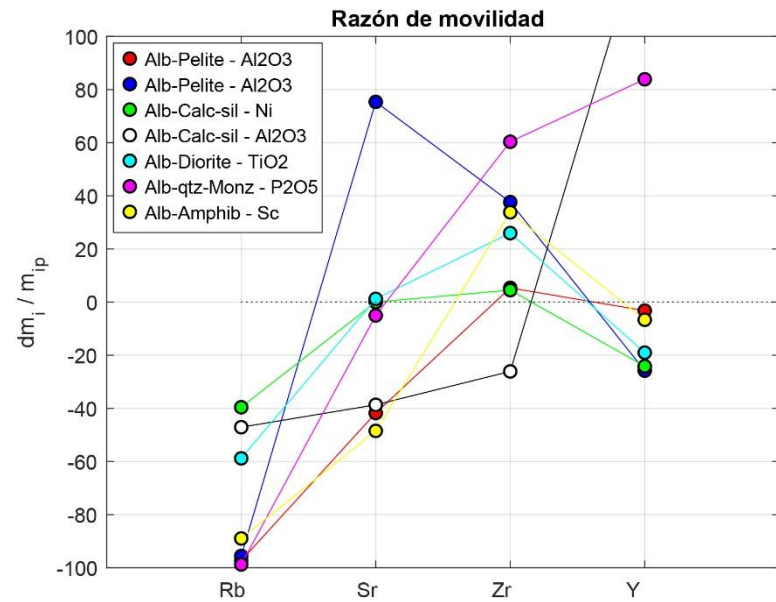
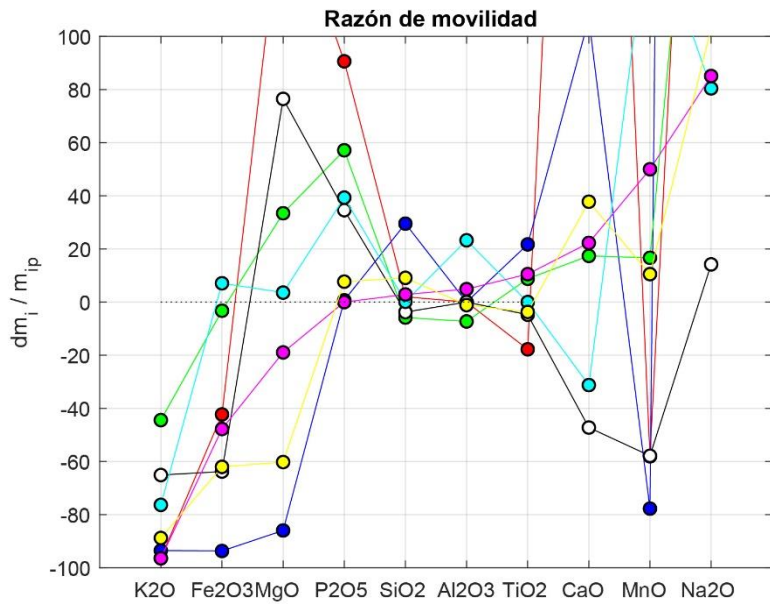


Figura C.13. Mori et al. 2008.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) para las muestra precursoras M409 para la Transversa-A y M104 para la Transversa-B y el element Cr como conservado para las muestras de Mori et al. (2008). En el recuadro se observa la distancia desde la vetilla carbonatada en la roca huesped esquistu azul.

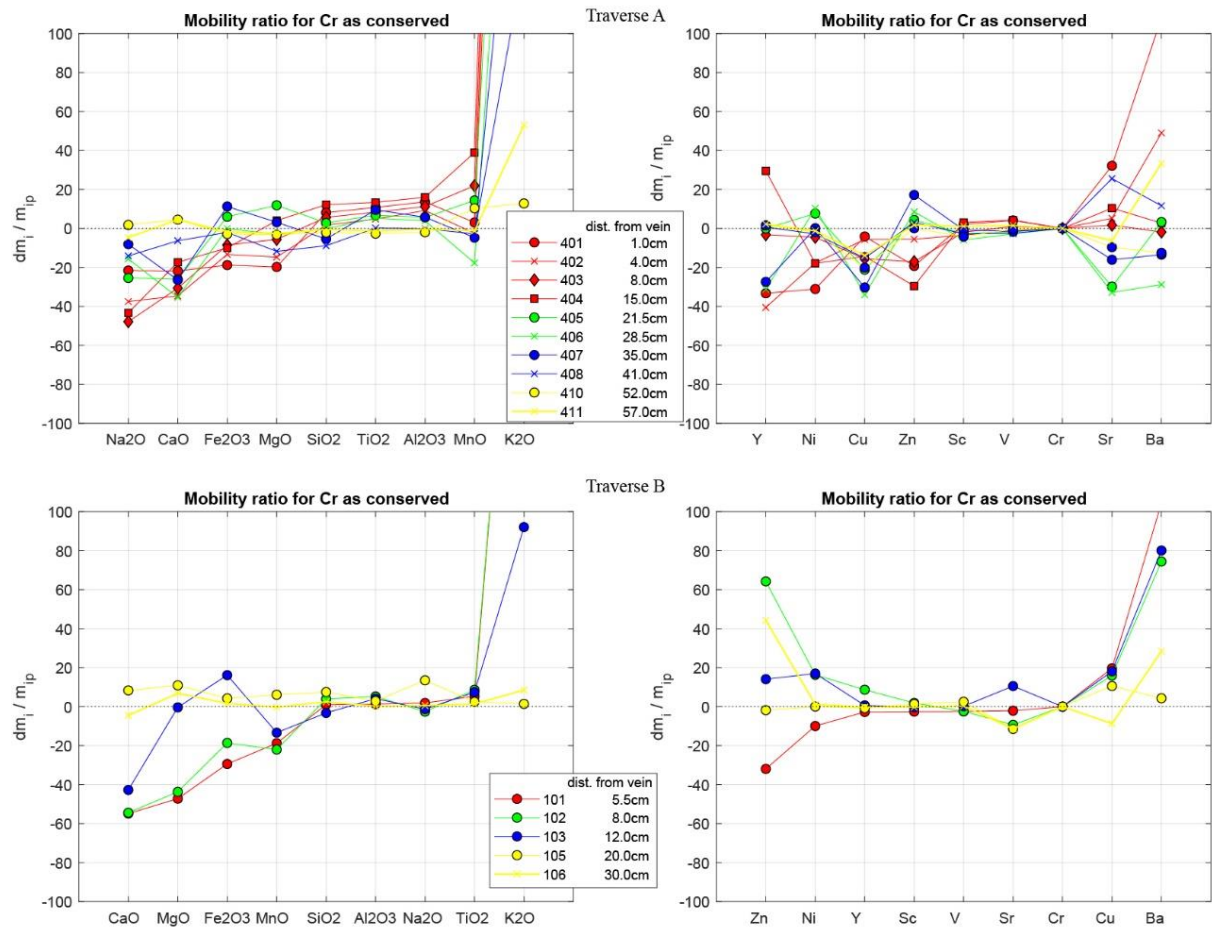


Figura C.13.2. Mori et al. 2008.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) para las muestra precursoras M409 para la Transversa-A y el element Cr como conservado para las muestras de Mori et al. (2008). En el recuadro se observa la distancia desde la vetilla carbonatada en la roca huesped esquistos azul.

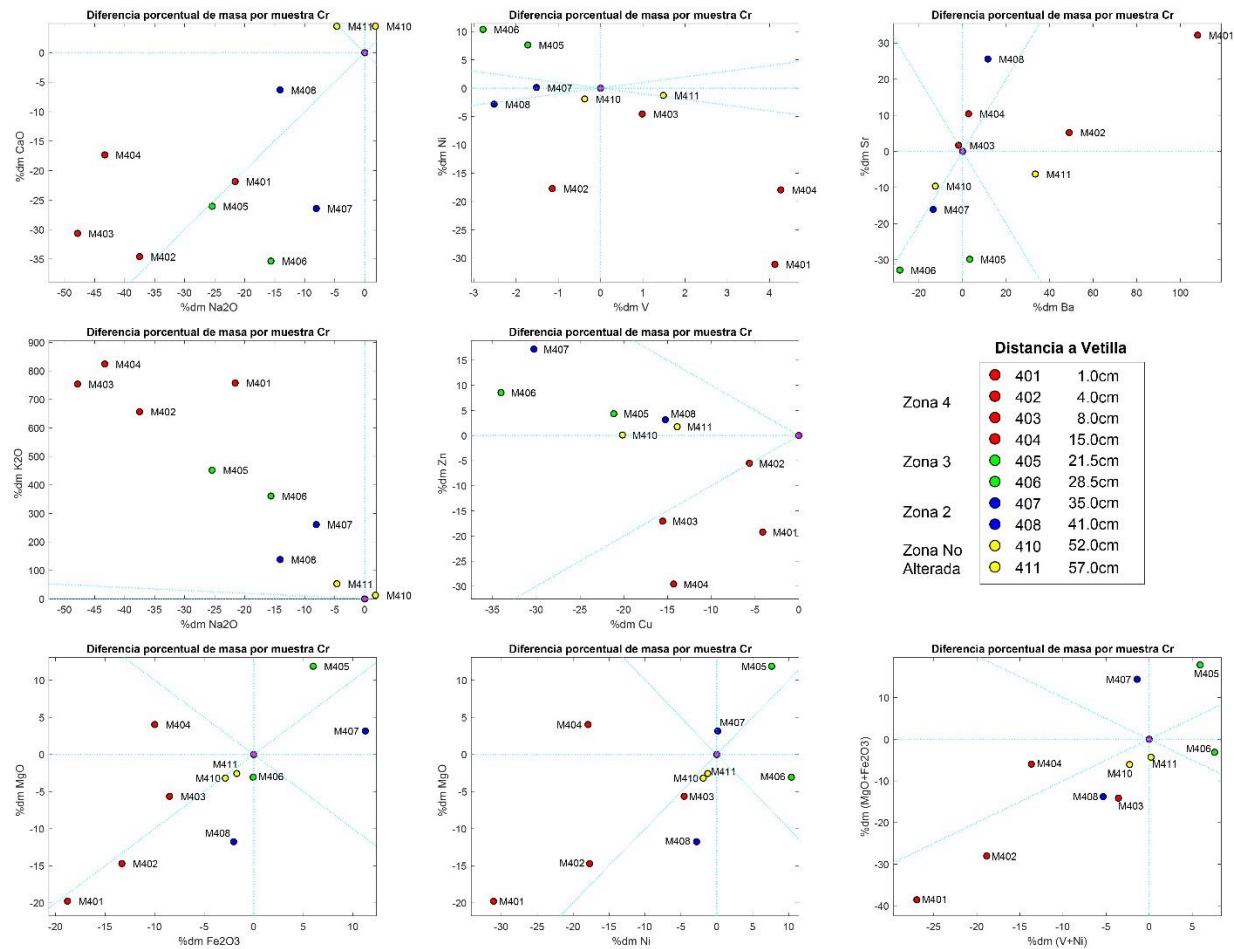


Figura C.14. Cornejo y Mahood 1997.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursoras del Nivel Central Inferior y el element Al_2O_3 como conservado para las muestras de Cornejo y Mahood (1997). El recuadro indica el nivel dentro del Plutón La Gloria determinado por Cornejo y Mahood: upper level – nivel superior, medium level – nivel medio, medium level border – borde del nivel medio, lower level border – borde del nivel inferior, leucogranite – leucogranito.

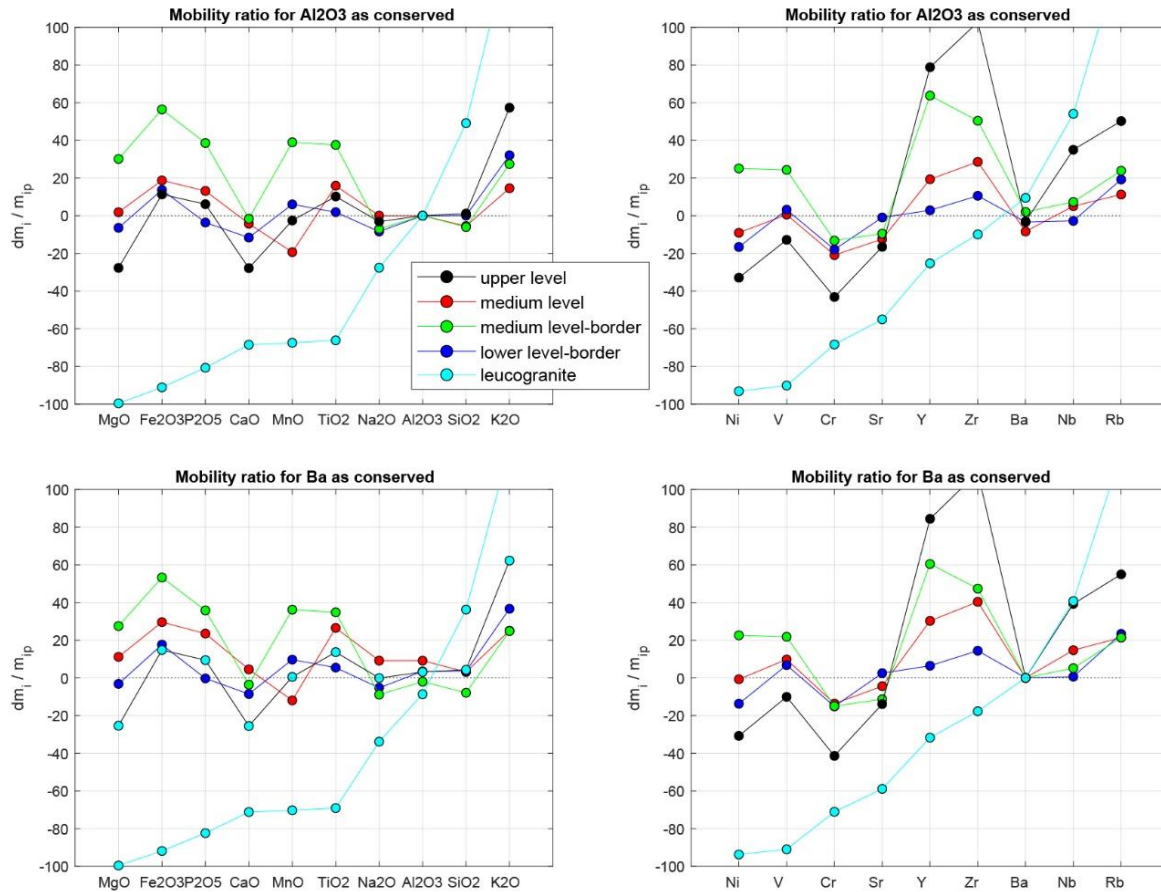


Figura C.15.1. Shore 1996.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursoras MS9304 y el element Al_2O_3 como conservado para las muestras del Flujo C de Shore (1996).

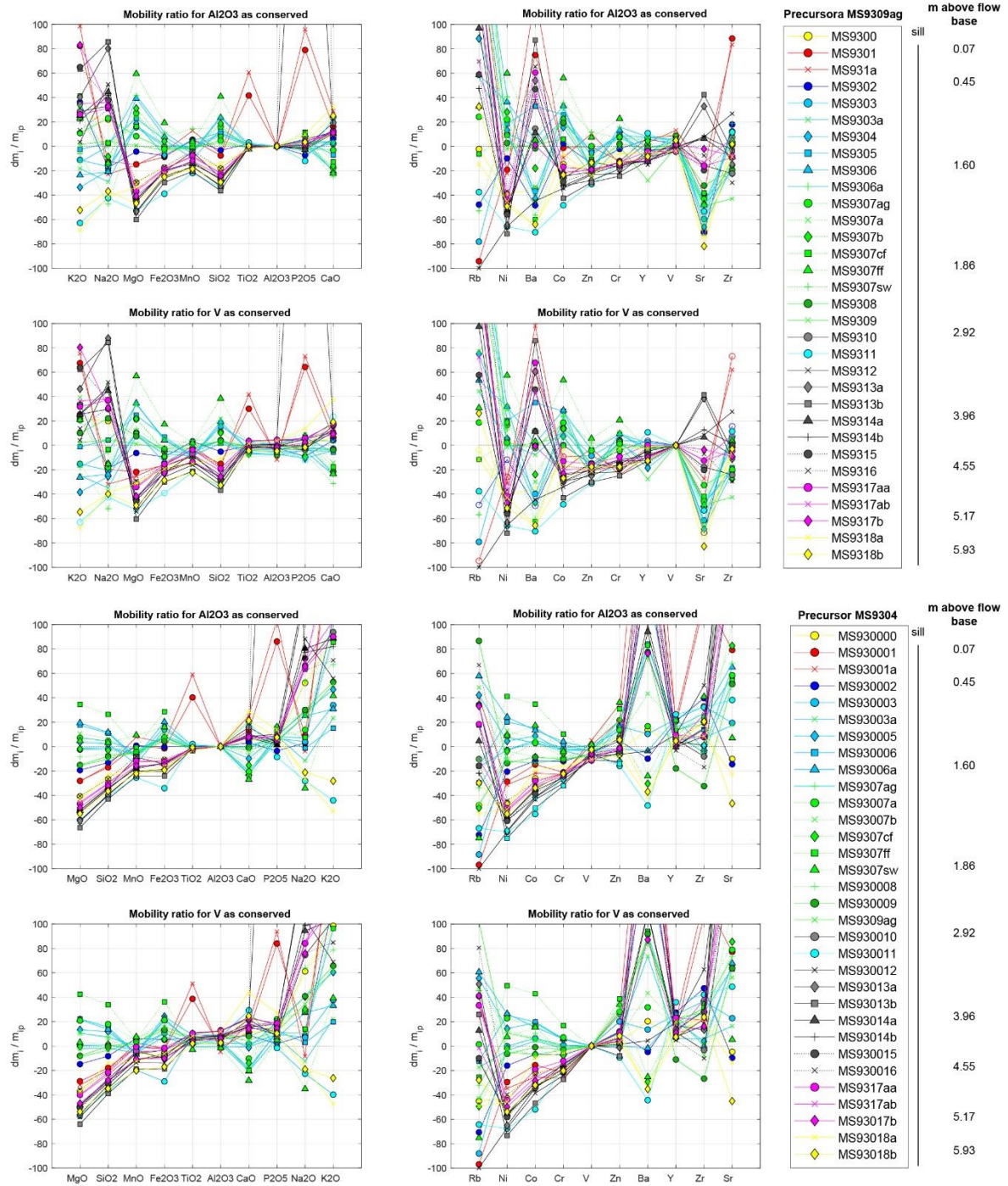


Figura C.15.1. Shore 1996.

Continuación: resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursoras MS60ag y el elemento Al_2O_3 como conservado para las muestras del Flujo AB de Shore (1996).

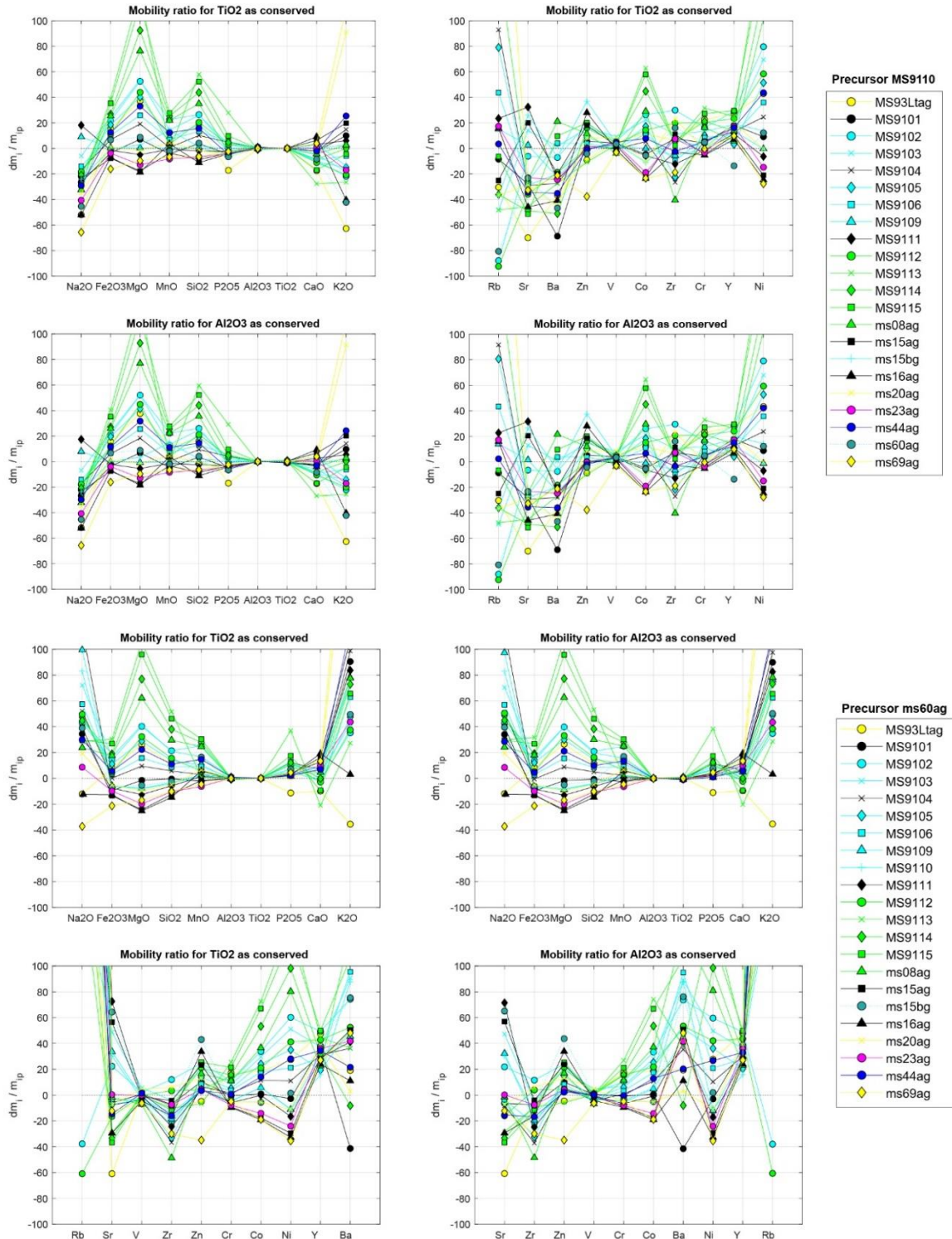


Figura C.16. Smith 1981.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursoras M80 y el elemento P_2O_5 como conservado para las muestras del Flujo de lava de Smith (1981). Muestras del techo (Flow top) y de las zonas masivas (Massive layer) de la colada de lava.

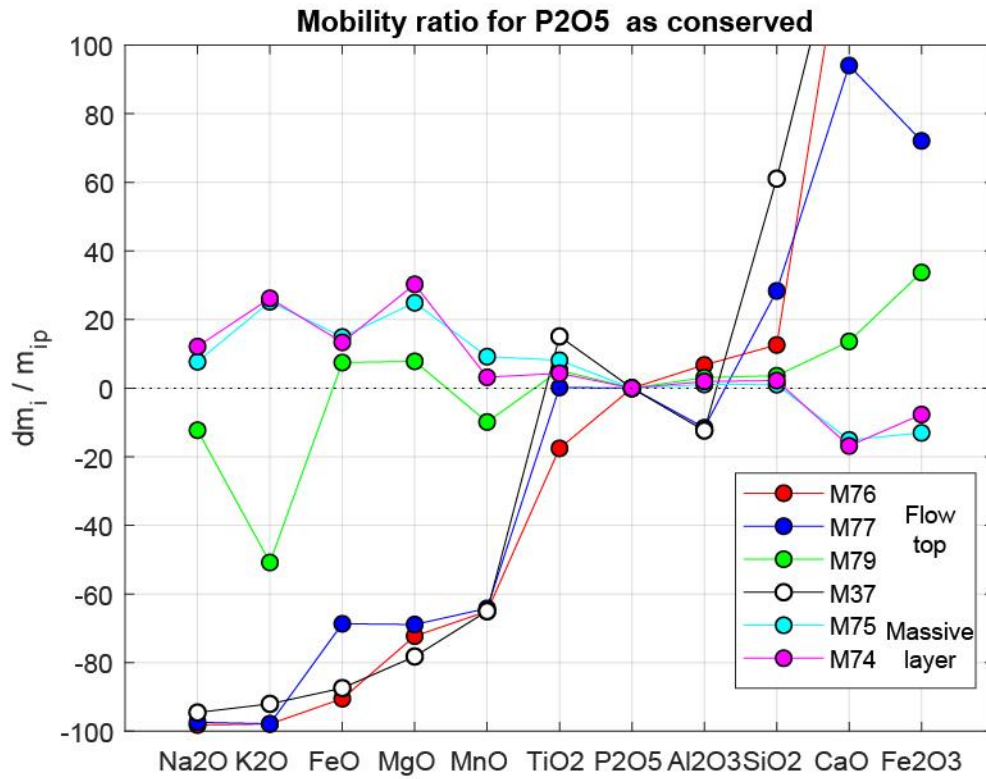


Figura C.17.1. Romeuf 1994.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursoras MI53 y MI58 a modo de comparación entre precursoras, para el elemento Al_2O_3 como conservado para las muestras de lavas almohadilladas de la Formación Santiago de Romeuf (1994). El gráfico de comparación proviene de la autora.

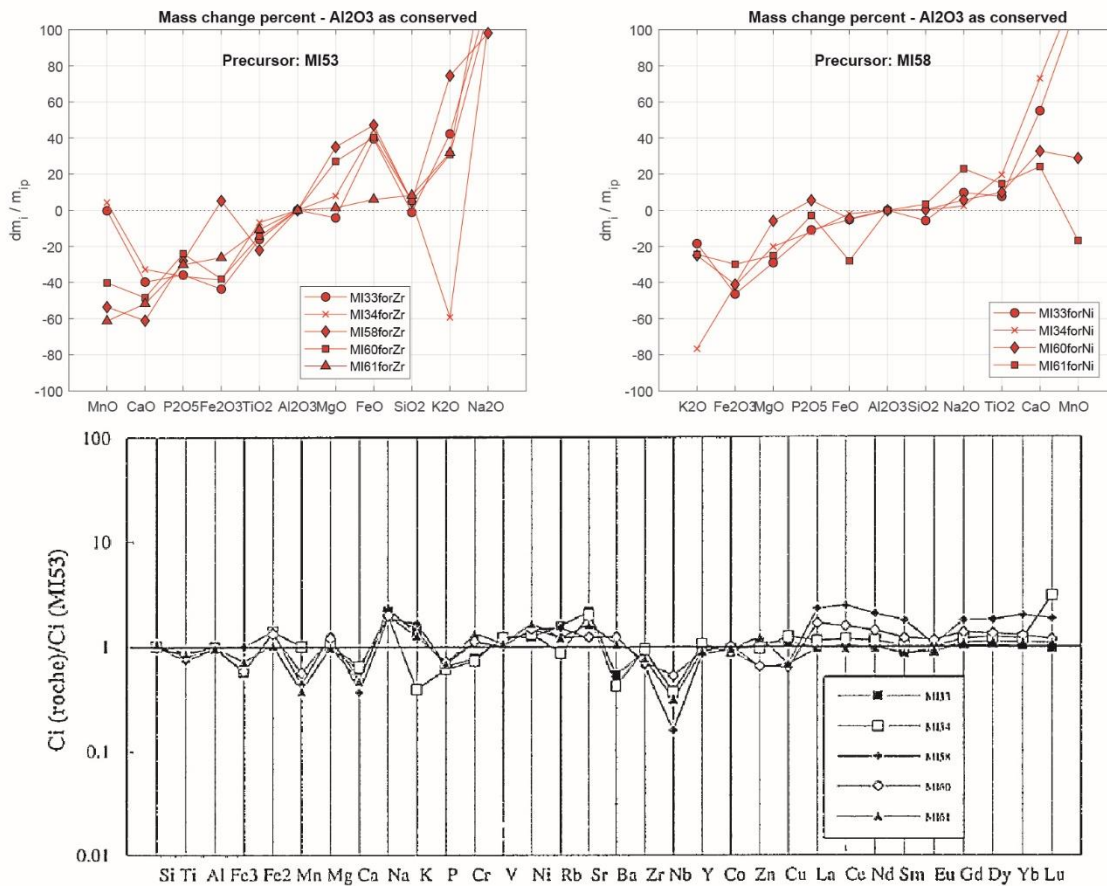
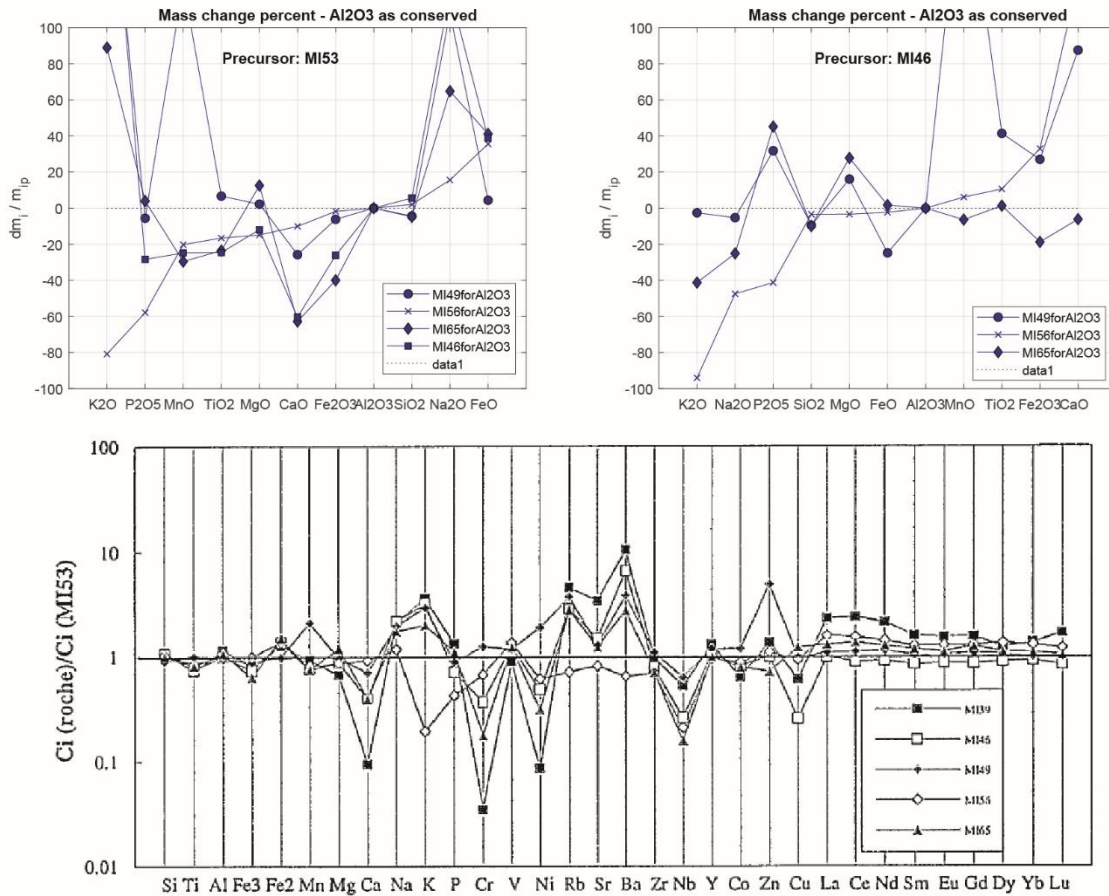


Figura C.17.2. Romeuf 1994.

Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursoras MI53 y MI58 a modo de comparación entre precursoras, para el elemento Al_2O_3 como conservado para las muestras de coladas masivas de la Formación Santiago de Romeuf (1994). El gráfico de comparación proviene de la autora.



Anexo D. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa calculados con la metodología Isomasas.

Estos datos se entregarán en su forma digital dada la extensión de las tablas.

Están acompañadas por los datos del Anexo B y por los resultados de Cambio de Masa Neto por Elemento y por las tablas de Estimación de Masas Secundarias por Elemento para cada Muestra de la Serie y el Cálculo Estadístico de Correlación de dichos datos.

Tabla D.1. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora WC57 y el elemento Al_2O_3 como conservado para las muestras de Jiang et al (2018).

Tabla D.2. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora JNLR004 y el elemento Al_2O_3 como conservado para las muestras de Liu et al (2006).

Tabla D.3. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora CR120 y el elemento Yb como conservado para las muestras de Condie et al (1995).

Tabla D.4. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra Esquisto precursora y el elemento MgO como conservado para las muestras de Magloughlin (1992).

Tabla D.5. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora EF01 y WR01 y el elemento TiO_2 como conservado para las muestras de Goddard (1993).

Tabla D.6. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora 61024 y el element Al_2O_3 como conservado para las muestras de Aguirre (1988).

Tabla D.7. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora Shale and Salte (=LutPiz) y el elemento Al_2O_3 como conservado para las muestras de Ague (1991).

Tabla D.8. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora MBG0708 y el elemento Tb como conservado para las muestras komatiíticas de Malviya et al. (2006).

Tabla D.8. Continuación: resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora MBG0708 y el elemento TiO_2 como conservado para las muestras de lavas almohadilladas de Malviya et al. (2006).

Tabla D.9. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de alteración de Alderton et al. (1980).

Tabla D.10. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de alteración de Bach et al. (2001).

Tabla D.11. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora SM203 y el elemento Zr como conservado para las muestras del perfil Zoulias de Christidis (1998).

Tabla D.11. Continuación: resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora SM285 y el elemento Zr como conservado para las muestras del perfil Prassa de Christidis (1998).

Tabla D.12. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando los pares muestra precursora - elemento conservado para las muestras de Oliver et al. (2004).

Tabla D.13. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) para la muestra precursora M409 para la Transversa-A y M104 para la Transversa-B y el elemento Cr como conservado para las muestras de Mori et al. (2008).

Tabla D.14. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora del Nivel Central Inferior y el elemento Al_2O_3 como conservado para las muestras de Cornejo y Mahood (1997).

Tabla D.15. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora MS9304 y el elemento Al_2O_3 como conservado para las muestras del Flujo C de Shore (1996).

Tabla D.15. Continuación: resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora MS60ag y el elemento Al_2O_3 como conservado para las muestras del Flujo AB de Shore (1996).

Tabla D.16. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando la muestra precursora M80 y el elemento P_2O_5 como conservado para las muestras del Flujo de lava de Smith (1981).

Tabla D.17. Resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando las muestras precursoras MI58 y MI46, y el elemento Al_2O_3 como conservado para las muestras de la Formación Santiago de Romeuf (1994).

Tabla D.17. Continuación: resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando las muestras precursoras MI106, y el elemento Al_2O_3 como conservado para las muestras de la Formación Misahualli del Norte de Romeuf (1994).

Tabla D.17. Continuación: resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando las muestras precursoras MI234, y el elemento TiO_2 como conservado para las muestras de la Formación Misahualli del Sur de Romeuf (1994).

Tabla D.17. Continuación: resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando las muestras precursoras CHA53, y el elemento Ce como conservado para las muestras de la Formación Chala de Romeuf (1994).

Tabla D.17. Continuación: resultados de Porcentaje de Cambio de Masa ($\%dm_i$) considerando las muestras precursoras OY13, y el elemento P_2O_5 como conservado para las muestras de la Formación Colán de Romeuf (1994).

Anexo E. Algoritmos escritos en MatLab® del Método Isomasas

Se presentan los scripts más relevantes del método Isomasas utilizados como bases para generar iteraciones sobre muestras y elementos considerados como precursoras y conservados, respectivamente. Nombres de funciones resaltados en 'negritas'.

Función: DMparaGraficar (Insumos para estimación Isomasas)

```
load Matriz.Concentracion.Muestras;
load PesoMolecular;
load DesviacionEstandar;
Matriz= Matriz.Concentracion.Muestras;
PM= PesoMolecular;
DE= DesviacionEstandar;
densidad=VectorDensidad;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
muestras=cellstr(['Muestral';'Muestra2';...;'Muestra-Parental']);
muestra_precursora='Muestra-Parental';
for precursora=1:1:size(muestras,1)
    if strcmp(muestra_precursora,muestras(precursora,:))==1
        aux_muestra_precursora=muestras(precursora,:);
        muestras(precursora,:)=[];
        muestras(size(muestras,1)+1,:)=aux_muestra_precursora;
    end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
HayFierros=1;%hierro di- y tri-valente
Coeficientes=[1 1 2 1 2 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1];
Conservados=['TiO2 '; 'Al2O3'; 'Zr  '];
CuantosMayores=11; %Cuántos elementos mayores considerar
CuantosVolatiles=0; %Cuántos volátiles considerar
HayTrazas=1; % 1=si; 0=no
GrupoMuestras=[1 1 1 2 2 2 2 7];%Vector agrupación muestras
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Plot=0; %1 graficar todos los resultados calculados por isomasas
PlotIso=0; %1 graficar isomasas
PlotErr=0; %1 graficar isomasas con errores
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
isomasas_generico_funcion2(Matriz, Coeficientes, PM, DE, muestras,
densidad, HayFierros, Conservados, CuantosMayores,
CuantosVolatiles, HayTrazas, GrupoMuestras, Plot, PlotIso,
PlotErr, muestra_precursora); Entrega como
salida:[TablaDMporMuestra, ConcentracionNormalizada,
ErrorConcNormalizada, TablaDMnetoPorMuestras, TablaMsComparado]
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ExigeCoeficiente=0; % Ho-TiO2 V-Nd La-Ce Ho-Y
identifica=abs(1-PlotIso);
if identifica==1
    identifica_conservados(TablaMsComparado,GrupoMuestras,ExigeCo
eficiente)
end
Entrega como salida:gráficos de correlación entre razones de masas
de sistemas hijos.
```

Función: isomasas_generico_funcion2 (Insumos para estimación Isomasas)

```
function isomasas_generico_funcion(Matriz, Coeficientes, PM, DE,
muestras, densidad, HayFierros, Conservados, CuantosMayores,
CuantosVolatiles, HayTrazas, GrupoMuestras, Plot, PlotIso,
PlotErr, muestra_precursora); Entrega como salida:
[TablaDmporMuestra, ConcentracionNormalizada,
ErrorConcNormalizada, TablaDMnetoPorMuestras, TablaMsComparado]
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Coef=Coeficientes; PesoMolecular=PM; ErrorAnalitico=DE';
ele=muestras; densidades=densidad; hay_dosFe=HayFierros;
rho=densidades; cuantos_mayores=CuantosMayores
n=CuantosVolatiles;
HAYtrazas=HayTrazas;
GruposMuestras=GrupoMuestras;
PMisoc=PesoMolecular;
valPMisoc=cell2mat(PMisoc(2:size(PMisoc,1),2:size(PMisoc,2)));%
Obtiene los valores numéricos de los PM.
PMox=valPMisoc.*Coef';      % Número catiónico de cada especie.
DE=ErrorAnalitico;        % Error analítico asociado
rho=densidades;
M=Matriz;
Cp=char(muestra_precursora);      % Muestra precursora
rho_p=rho(size(rho,2));           % Densidad Muestra precursora
NOM=cellstr(M(1,2:size(M,2)))';  % Nombres elementos
DMtotal.NOM=NOM;                 % Estructura guardar dm%
DM_netazo.NOM=NOM;               % Estructura guardar dm
MsComparado.NOM=NOM;             % Estructura guardar elementos
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Qué Graficar %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
plotea=Plot;                      % ¿Plotear transferencia material?
ploteaDMrelativo=PlotIso;%       % ¿Plotear cuantificación?
plotea_errores=PlotErr;          % ¿Plotear con error?
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
conservado_vector=Conservados;
Conservados=ones(size(ele,1)-1,size(conservado_vector,1));
Ms=ones(size(ele,1)-1,size(conservado_vector,1));
R=ones(size(ele,1)-1,size(conservado_vector,1));
I=ones(size(ele,1)-1,size(conservado_vector,1));
ConcentracionNormalizadaAux1=[];
ErrorConcentracionNormalizadaAux1=[];
names_aux=[];
ConcentracionNormalizada=ones(size(Matriz',1),size(muestras,1)*size(Conservados,1)+1);
ErrorConcNormalizada=ones(size(Matriz',1),size(muestras,1)*size(Conservados,1)+1);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Se itera sobre el vector de conservados
for j=1:size(conservado_vector,1)
    conservado=conservado_vector(j,:);
    nombre_conserv=char(conserv);
    clear DM
```

```

clear ERR
for k=1:(size(ele,1)-1)
    Cs=char(ele(k)); % Muestra secundaria a analizar
    rho_s=rho(k); % Densidad de la muestra secundaria
    masa_alterada_generico(Cp,Cs, conservado, M, ele, rho_p,
    rho_s, DE, plotea, PMox, cuantos_mayores, n, hay_dosFe);
    Entrega como salida: [Tabla1, Ms_inerte, masa_removida,
    masa_incluida, dm_conservado, xn_, sdx_, yn_, sdy_]
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

    %cálculo de masas para un elemento conservado
    Conservados(k,j)=dm_conservado;
    %se guarda la dm del elemento considerado como
    conservado
    myvarname=['Tabla1_' Cs '_' nombre_conservado];
    %Se crea tabla de nombres de elementos considerados
    conservados
    eval([sprintf(myvarname) '=Tabla1']);
    Ms(k,j)=Ms_inerte;
    % Se guarda el valor estimado por el conservado para
    cada muestra
    R(k,j)=masa_removida;
    % La masa removida
    I(k,j)=masa_incluida;
    % La masa incluida
    DM_parcial=cell2mat(Tabla1(2:size(Tabla1,1)-1,12));
    % Los delta de masa por elemento.
    DM.(genvarname([Cs 'for'
    nombre_conservado]))=DM_parcial;
    DMtotal.(genvarname([Cs 'for'
    nombre_conservado]))=DM_parcial;
    DM_netto=cell2mat(Tabla1(2:size(Tabla1,1)-1,9));
    DM_netazo.(genvarname([Cs 'for' nombre_
    conservado]))=DM_netto;
    MsCompara=cell2mat(Tabla1(2:size(Tabla1,1)-1,11));
    MsComparado.(genvarname([Cs 'for' nombre_
    conservado]))=MsCompara;
    ERR_parcial=cell2mat(Tabla1(2:size(Tabla1,1)-1,13));
    ERR.(genvarname([Cs 'for' nombre_
    conservado]))=ERR_parcial;
    ConcentracionNormalizadaAux(:,k)=yn_;
    ErrorConcentracionNormalizada(:,k)=sdy_;
end
% guarda dm y concentración
names=fieldnames(DM);
B=ones(size(names,1),size(NOM,1));
Aerr=ones(size(names,1),size(NOM,1));
AM=ones(size(names,1),cuantos_mayores-n);
AMerr=ones(size(names,1),cuantos_mayores-n);
AT=ones(size(names,1),size(NOM,1)-(cuantos_mayores));
ATerr=ones(size(names,1),size(NOM,1)-(cuantos_mayores));
names_aux=[names_aux names'];

```

```

ConcentracionNormalizadaAux1=[ConcentracionNormalizadaAux1
num2cell(ConcentracionNormalizadaAux)];
ErrorConcentracionNormalizadaAux1=[ErrorConcentracionNormaliz
adaAux1 num2cell(ErrorConcentracionNormalizada)];

for m=1:1:size(names,1)
    B(m,:)=DM.(char(names(m)));
%%% Diferencias de masa por muestra
    AM(m,:)=B(m,1:cuantos_mayores-n);
%%% dm Elementos Mayores
    %%% Errores para dm por muestra
    Aerr(m,:)=ERR.(char(names(m)));
%%% error dm todxs
    AMerr(m,:)=Aerr(m,1:cuantos_mayores-n);
%%% error dm Elementos Mayores
    if HAYtrazas==1
        AT(m,:)=B(m,cuantos_mayores+1:size(NOM,1));
%%% dm Elementos Trazas
        ATerr(m,:)=Aerr(m,cuantos_mayores+1:size(NOM,1));
%%% error dm Elementos Trazas
    end
end
%%% variables auxiliares
AMauxDM=ones(size(names,1),cuantos_mayores-n);
AMerrOrd=ones(size(names,1),cuantos_mayores-n);
minGlobalMayores=min(min(AM));
%%% Se obtiene el minimo global para Mayores
ATAuxDM=ones(size(names,1),size(NOM,1)-(cuantos_mayores));
%%% Ojo con el if HAYtrazas==0
ATerrOrd=ones(size(names,1),size(NOM,1)-(cuantos_mayores));
minGlobalTrazas=min(min(AT));
%%% Se obtiene el minimo global para Trazas
for m=1:1:size(AM,1)
    if minGlobalMayores==min(AM(m,:))
        [A2, ordenM]=sort(AM(m,:), 'ascend');
        disp(['La muestra con menor DM en mayores es: '
char(names(m))])
    end
end
ordenMayores=ordenM;
NOM_Mayores=NOM(1:cuantos_mayores-n);
NOMordenadoMayores=NOM_Mayores(ordenMayores,:);
k=0;
while k<size(AM,1)
    k=k+1;
    for m=1:1:size(AM,2)
        for j=1:1:size(AM,2)
            if
size(char(NOMordenadoMayores(m)))==size(char(NOM_Mayores(j)))
                if
char(NOMordenadoMayores(m))==char(NOM_Mayores(j))

```



```

lineamayoreslistaerr=0;
lineatrazaslistaerr=0;
if ploteaDMrelativo==1
    location='Best';
    figure
    for k=1:1:size(AM,1)
        plot(AMauxDM(k,:),color(k,:))
        hold on
    end
    set(gca,'XTick',1:size(NOMordenadoMayores));
    set(gca,'XTickLabel',(NOMordenadoMayores));
    title(['M transfer ratio for' (conservado) 'as conserved
'])
    ylabel('dm_i / m_i_p')
    legend(names,'Location',location);
    ylim([-100,100])
    xlim([0,size(NOMordenadoMayores,1)+1])
    hold on
    grid on
    lineal=AMauxDM(1,:)*0;
    if lineamayoreslista==0
        plot(lineal,'k:')
        lineamayoreslista=1;
    end
end
if plotea_errores==1
    location='Best';
    figure
    for k=1:1:size(AMerrOrd,1)
        errorbar(AMauxDM(k,:),AMerrOrd(k,:),color(k,:));
        hold on
    end
    set(gca,'XTick',1:size(NOMordenadoMayores));
    set(gca,'XTickLabel',(NOMordenadoMayores));
    title(['M transfer ratio for' (conservado) 'as conserved '])
    ylabel('dm_i / m_i_p')
    legend(names,'Location',location);
    ylim([-100,100])
    xlim([0,size(NOMordenadoMayores,1)+1])
    hold on
    grid on
    lineal=AMauxDM(1,:)*0;
    if lineamayoreslistaerr==0
        plot(lineal,'k:')
        lineamayoreslistaerr=1;
    end
end
if HAYtrazas==1 && ploteaDMrelativo==1
    figure
    for k=1:1:size(AT,1)
        plot(ATauxDM(k,:),color(k,:))
        hold on

```

```

end
set(gca,'XTick',1:size(NOMordenadoTrazas));
set(gca,'XTickLabel',(NOMordenadoTrazas));
title(['M Transfer ratio for' (conservado) 'as conserved'])
ylabel('dm_i / m_i_p')
legend(names,'Location',location);
ylim([-100,100])
xlim([0,size(NOMordenadoTrazas,1)+1])
hold on
lineal=ATauxDM(1,:)*0;
grid on
if lineatrazaslista==0
    plot(lineal,'k:')
    lineatrazaslista=1;
end
end
if HAYtrazas==1 &&plotea_errores==1
    figure
    for k=1:1:size(ATerrOrd,1)
        errorbar(ATauxDM(k,:),ATerrOrd(k,:),color(k,:));
        hold on
    end
    set(gca,'XTick',1:size(NOMordenadoTrazas));
    set(gca,'XTickLabel',(NOMordenadoTrazas));
    title(['Transfer ratio for ' (conservado) ' as conserved
'])
    ylabel('dm_i / m_i_p')
    legend(names,'Location',location);
    ylim([-100,100])
    xlim([0,size(NOMordenadoTrazas,1)+1])
    hold on
    grid on
    lineal=ATauxDM(1,:)*0;
    if lineatrazaslistaerr==0
        plot(lineal,'k:')
        lineatrazaslistaerr=1;
    end
end
DMtodos.(genvarname([Cs 'for' nombre_conservado]))=DM_parcial;
end
ConcentracionNormalizada=[cellstr(M(1,1)) cellstr(names_aux)
cellstr('Precursora');M(1,2:size(M,2))'
ConcentracionNormalizadaAux1 num2cell(xn_)];
ErrorConcNormalizada=[cellstr(M(1,1)) cellstr(names_aux)
cellstr('Precursora');M(1,2:size(M,2))'
ErrorConcentracionNormalizadaAux1 num2cell(sdx_)];
TablaConservado=[cellstr('Conservado')
cellstr(vector_conservado)';[ele(1:size(ele,1)-1,1)
num2cell(Conservados)]];
xlswrite('ConservadoXXX.xlsx', TablaConservado);
TablaDMtotal=struct2table(DMtotal);
TablaDMneto=struct2table(DM_netazo);

```

```
TablaMsComparados=struct2table(MsComparado);
varnames=fieldnames(TablaDMtotal)';
varnames=varnames(1:size(varnames,2)-3);

TablaDMporMuestra=[varnames;table2cell(TablaDMtotal)];

xlswrite('DM_PorMuestras.xlsx',TablaDMporMuestra);

TablaDMnetoPorMuestras=[varnames;table2cell(TablaDMneto)];
xlswrite('DMnetoPorMuestras.xlsx', TablaDMnetoPorMuestras);

TablaMsComparado=[varnames;table2cell(TablaMsComparados)];

xlswrite('MsComparado.xlsx', TablaMsComparado);
return
```

Función: masa_alterada_generico (Estimación del tamaño del sistema hijo en masa)

```

Function masa_alterada_generico(Cp, Cs, conservado, M, ele, rho_p,
rho_s, DE, plotea, PMox, cuantos_mayores, n, hay_dosFe); Entrega
como salida: [Tabla, Ms_inerte, masa_removida, masa_incluida,
dm_conservado, xn_, sdx_, yn_, sdy_]
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ele_ch=char(ele); % nombres de muestras
%% Obtención de datos geoquímicos para muestras a comparar
%% x_ , y_ corresponden a los vectores con las concentraciones
%% de todos los elementos en las muestras parental e hija

for k=1:size(ele_ch,1)
    elem=ele_ch(k,1:size(ele_ch,2));
    eval(['=dato_MERisoc('' ' char(ele(k)) '' ,M);']);
end
eval(['x_=' Cp ';'']);
eval(['y_=' Cs ';'']);
x_(cuantos_mayores+1:size(x_,1))=x_(cuantos_mayores+1:size(x_,1))/
10000;
y_(cuantos_mayores+1:size(y_,1))=y_(cuantos_mayores+1:size(y_,1))/
10000;
CinicialX=x_;
CinicialY=y_;
ConcentracionX=sum(x_);
ConcentracionY=sum(y_);
%% Error
SD=cell2mat(DE(2:size(DE,1),2));
SD(cuantos_mayores+1:size(SD,1))=SD(cuantos_mayores+1:size(SD,1))/
10000;
ErrorXY=0;
for s=1:1:size(SD,1)
    ErrorXY=ErrorXY+SD(s)^2;
end
ErrorConcentracionXY=sqrt(ErrorXY);
%% Estandarización de concentraciones y de error
xn_=ones(size(x_));
sdx_=ones(size(x_));
yn_=ones(size(y_));
sdy_=ones(size(y_));
for k=1:size(x_,1)
    xn_(k)=100*x_(k)/ConcentracionX;
    sdx_(k,:)=xn_(k)*sqrt((SD(k)/x_(k))^2+(ErrorConcentracionXY/C
oncentracionX)^2);
end
for k=1:size(y_,1)
    yn_(k)=100*y_(k)/ConcentracionY;
    sdy_(k,:)=yn_(k)*sqrt((SD(k)/y_(k))^2+(ErrorConcentracionXY/C
oncentracionY)^2);
end

```

```

%%% Cálculo de la masa inicial
m_i_p=xn_; %Masas por componente con clausura
MasaInicial=sum(xn_); %debe ser 100g
ConcentracionXnorm=sum(xn_);
ConcentracionYnorm=sum(yn_);
ErrorConcentracionXnormalizada=0;
ErrorConcentracionYnormalizada=0;
for s=1:1:size(SD,1)
    ErrorConcentracionXnormalizada=ErrorConcentracionXnormalizada
        +sd_x_(s)^2;
    ErrorConcentracionYnormalizada=ErrorConcentracionYnormalizada
        +sd_y_(s)^2;
end
ECXN=sqrt(ErrorConcentracionXnormalizada);
ECYN=sqrt(ErrorConcentracionYnormalizada);
%%% Línea del conservado, lo reconoce y lo guarda "conservado"
elemen=char(M(1,:));
for p=2:size(elemen,1)
    p;
    if size(inmovil,2)==size(elemen(p,:),2)
        if char(conservado)==char(elemen(p,:))
            x_ conservado=xn_(p-1);
            error_x_ conservado=sd_x_(p-1);
            y_ conservado=yn_(p-1);
            error_y_ conservado=sd_y_(p-1);
            Kconservado=p-1;
        end
    end
end
%%% Cálculo de la masa estimada secundaria Ms para el "conservado"
Ms_inerte=MasaInicial*x_ conservado/y_ conservado;
Error_Ms_inerte=MasaInicial*x_ conservado/y_ conservado*sqrt((ECXN/M
asaInicial)^2+(error_x_ conservado/x_ conservado)^2+(error_y_ conserv
ado/y_ conservado)^2);
%%% Cálculo de masa y error por elemento.
m_i_s=Ms_inerte*yn_/100; %100 porque es porcentaje de
concentración. No, es porque Mip=100gr
error_m_i_s=ones(size(yn_,2),1);
for c=1:1:size(yn_,1)
    error_m_i_s(c,:)=Ms_inerte*yn_(c)/MasaInicial*sqrt((Error_Ms_
inerte/Ms_inerte)^2+(sd_y_(c)/yn_(c))^2);
end
MasaFinal=sum(m_i_s);
ErrorMasaFinal=0;
for s=1:1:size(SD,1)
    ErrorMasaFinal=ErrorMasaFinal+error_m_i_s(s)^2;
end
ErrorMasaFinal=sqrt(ErrorMasaFinal);
MsEsperado=MasaInicial*xn_/yn_; % cálculo de la masa sistema hijo
esperada para el resto de los componentes
MsComparadoNorm=MsEsperado/Ms_inerte; % Razon de tamaño de sistema
RCtot=xn_/yn_; % Razón de concentración para todo comp.

```

```

ErrorMsEsperado=ones(size(MsEsperado));
ErrorMsComparadoNormalizado=ones(size(MsEsperado));
for c=1:1:size(xn_,1)
    ErrorMsEsperado(c,:)=MasaInicial*xn_(c)/y_(c)*sqrt((sdx_(c)/xn_(c))^2+(sdy_(c)/yn_(c))^2);
    ErrorRCTot(c,:)=xn_(c)/yn_(c)*sqrt((sdx_(c)/xn_(c))^2+(sdy_(c)/yn_(c))^2);
    ErrorMsComparadoNormalizado(c,:)=MsEsperado(c)/Ms_inerte*sqrt((ErrorMsEsperado(c)/MsEsperado(c))^2+(Error_Ms_inerte/Ms_inerte)^2);
end
%%% Se ordenan los elementos mayores según Ms Comparado
[MsMayoresComparadoNormOrdenado,
Msmcno]=sort(MsComparadoNorm(1:cuantos_mayores-n),'ascend');
elemenMsMayoresComparado=elemen(2:cuantos_mayores-n+1,:);
elemenMsMayoresComparadoOrdenado=elemenMsMayoresComparado(Msmcno,:);
ErrorMsMayoresComparadoNormOrdenado=ErrorMsComparadoNormalizado(Msmcno,:);
[MsTrazasComparadoNormOrdenado,
Mstcno]=sort(MsComparadoNorm(cuantos_mayores+1:size(MsComparadoNorm,1)),'ascend');
elemenMsTrazasComparado=elemen(cuantos_mayores+2:size(elemen,1),:);
elemenMsTrazasComparadoOrdenado=elemenMsTrazasComparado(Mstcno,:);
ErrorMsTrazasComparadoNormOrdenado=ErrorMsComparadoNormalizado(Mstcno,:);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% Cálculo Diferencias de masa
dif_masa=m_i_s-m_i_p;
dm_conservado=dif_masa(Kconservado);
relativo_m_i_p=abs(dif_masa./m_i_p)*100;
relativo_m_i_p_ConSigno=(dif_masa./m_i_p)*100;
Errordif_masa=ones(size(error_m_i_s));
for c=1:1:size(error_m_i_s,1)
    Errordif_masa(c)=sqrt(error_m_i_s(c)^2+sdx_(c)^2);
end
Error_relativo_m_i_p=ones(size(relativo_m_i_p));
for c=1:1:size(m_i_p,1)
    Error_relativo_m_i_p(c)=relativo_m_i_p(c)*sqrt((Errordif_masa(c)/abs(dif_masa(c)))^2+(sdx_(c)/m_i_p(c))^2);
end
%%% Cálculo Fe=mFe2O3-mFeO
if hay_dosFe==1
    dif_masaFe=[dif_masa(4)+dif_masa(5);'g'];
elseif hay_dosFe==0
    dif_masaFe='n.d.'; %no determinada
end

```

```

%% Discriminar por elemento Incluido o Removido Mayores
contador_removidosM=0;
contador_incluidosM=0;
contador_inertesM=0;
for f=1:cuantos_mayores-n
    if dif_masa(f)<0
        contador_removidosM=contador_removidosM+1;
    elseif dif_masa(f)>0
        contador_incluidosM=contador_incluidosM+1;
    elseif dif_masa(f)==0
        contador_inertesM=contador_inertesM+1;
    end
end
masaIncluida_i_Mayores=zeros(contador_incluidosM,1);
RCincludo1_Mayores=zeros(contador_incluidosM,1);
relativo_m_i_pIncluido_Mayores=zeros(contador_incluidosM,1);
ErrormasaIncluida_i_Mayores=zeros(contador_incluidosM,1);
masaRemovida_i_Mayores=zeros(contador_removidosM,1);
RCremovido1_Mayores=zeros(contador_removidosM,1);
relativo_m_i_pRemovido_Mayores=zeros(contador_removidosM,1);
ErrormasaRemovida_i_Mayores=zeros(contador_removidosM,1);
masa_incluida_Mayores=0;
masa_removida_Mayores=0;
min_masa_incluida=max(relativo_m_i_p);
min_masa_removida=max(relativo_m_i_p);
ElementoInerteMayores=[''];
j=1;
l=1;
m=1;
for k=1:(cuantos_mayores-n) %Elementos mayores
    if dif_masa(k)>0 %Incluidos
        masa_incluida_Mayores=masa_incluida_Mayores+dif_masa(k);
        ElemIncluidoMayores(j,:)=elemen(k+1,:);
        masaIncluida_i_Mayores(j)=dif_masa(k);
        RCincludo1_Mayores(j)=RCtot(k);
        relativo_m_i_pIncluido_Mayores(j)=relativo_m_i_p(k);
        ErrormasaIncluida_i_Mayores(j)=Errordif_masa(k);
        if relativo_m_i_p(k)<min_masa_incluida
            min_masa_incluida=relativo_m_i_p(k);
            elemento_min_masa_incluida=elemen(k+1,:);
        end
        j=j+1;
    elseif dif_masa(k)<0 %Removidos
        masa_removida_Mayores=masa_removida_Mayores+dif_masa(k);
        ElemRemovido_Mayores(l,:)=elemen(k+1,:);
        masaRemovida_i_Mayores(l)=dif_masa(k);
        RCremovido1_Mayores(l)=RCtot(k);
        relativo_m_i_pRemovido_Mayores(l)=relativo_m_i_p(k);
        ErrormasaRemovida_i_Mayores(l)=Errordif_masa(k);
        if relativo_m_i_p(k)<min_masa_removida
            min_masa_removida=abs(relativo_m_i_p(k));
            elemento_min_masa_removida=elemen(k+1,:);
        end
    end
end

```

```

        end
        l=l+1;
    elseif dif_masa(k)==0
        ElementoInerteMayores(m,:)=elemen(k+1,:);
        m=m+1;
    end
    min_masa_movil=min(min_masa_incluida,min_masa_removida);
    try
        if min_masa_movil==min_masa_incluida
            ElementoMasInerteMayores=elemento_min_masa_incluida;
        elseif min_masa_movil==min_masa_removida
            ElementoMasInerteMayores=elemento_min_masa_removida;
        end
    end
end
end
min_masa_incluida=max(relativo_m_i_p);
min_masa_removida=max(relativo_m_i_p);

%%% Discriminar por elemento Incluido o Removido en Trazas
contador_removidosT=0;
contador_incluidosT=0;
contador_inertesT=0;
for f=cuantos_mayores+1:size(dif_masa,1)
    if dif_masa(f)<0
        contador_removidosT=contador_removidosT+1;
    elseif dif_masa(f)>0
        contador_incluidosT=contador_incluidosT+1;
    elseif dif_masa(f)==0
        contador_inertesT=contador_inertesT+1;
    end
end
end
masaIncluida_i_trazas=zeros(contador_incluidosT,1);
RCincluido1_trazas=zeros(contador_incluidosT,1);
relativo_m_i_pIncluido_trazas=zeros(contador_incluidosT,1);
ErrormasaIncluida_i_trazas=zeros(contador_incluidosT,1);
masaRemovida_i_trazas=zeros(contador_removidosT,1);
RCremovido1_trazas=zeros(contador_removidosT,1);
relativo_m_i_pRemovido_trazas=zeros(contador_removidosT,1);
ErrormasaRemovida_i_trazas=zeros(contador_removidosT,1);
masa_incluida_trazas=0;
masa_removida_trazas=0;
ElementoInerteTrazas=[''];
j=1;
l=1;
w=1;
for k=cuantos_mayores+1:size(dif_masa,1) %Elementos mayores
    if dif_masa(k)>0 %Incluidos
        masa_incluida_trazas=masa_incluida_trazas+dif_masa(k);
        ElemIncluido_trazas(j,:)=elemen(k+1,:);
        masaIncluida_i_trazas(j)=dif_masa(k);
        RCincluido1_trazas(j)=RCtot(k);
        relativo_m_i_pIncluido_trazas(j)=relativo_m_i_p(k);
    end
end

```



```

    ErrormasaIncluida_i_trazas(j)=Errordif_masa(k);
    if relativo_m_i_p(k)<min_masa_incluida
        min_masa_incluida=relativo_m_i_p(k);
        elemento_min_masa_incluida=elemen(k+1,:);
    end
    j=j+1;
elseif dif_masa(k)<0 %Removidos
    masa_removala_trazas=masa_removala_trazas+dif_masa(k);
    ElemRemovido_trazas(l,:)=elemen(k+1,:);
    masaRemovida_i_trazas(l)=dif_masa(k);
    RCremovido1_trazas(l)=RCtot(k);
    relativo_m_i_pRemovido_trazas(l)=relativo_m_i_p(k);
    ErrormasaRemovida_i_trazas(l)=Errordif_masa(k);
    if relativo_m_i_p(k)<min_masa_removala
        min_masa_removala=abs(relativo_m_i_p(k));
        elemento_min_masa_removala=elemen(k+1,:);
    end
    l=l+1;
elseif dif_masa(k)==0
    ElementoInerteTrazas(w,:)=elemen(k+1,:);
    w=w+1;
end
min_masa_movil=min(min_masa_incluida,min_masa_removala);
try
    if min_masa_movil==min_masa_incluida
        ElementoMasInerteTrazas=elemento_min_masa_incluida;
    elseif min_masa_movil==min_masa_removala
        ElementoMasInerteTrazas=elemento_min_masa_removala;
    end
end
end

masa_incluida=masa_incluida_Mayores+masa_incluida_trazas;
masa_removala=masa_removala_Mayores+masa_removala_trazas;

try
    RCremovidoMayores=RCremovido1_Mayores;
    RCincluidoMayores=RCincluido1_Mayores;
    RCremovidoTrazas=RCremovido1_trazas;
    RCincluidoTrazas=RCincluido1_trazas;
end

HM=relativo_m_i_pIncluido_Mayores;
KM=relativo_m_i_pRemovido_Mayores;
try
    [HM2, InclM]=sort(HM, 'descend');
    ElemIncluidoOrdenadoMayores=ElemIncluidoMayores(InclM,:);
    masaIncluida_i_OrdenadoMayores=masaIncluida_i_Mayores(InclM,:);
);

```

```

    ErrormasaIncluida_i_OrdenadoMayores=ErrormasaIncluida_i_Mayores(InclM,:);
    RCIncluidoOrdenadoMayores=RCIncluidoMayores(InclM,:);
end
try
    [KM2, RemvM]=sort(KM,'descend');
    ElemRemovidoOrdenadoMayores=ElemRemovido_Mayores(RemvM,:);
    masaRemovida_i_OrdenadoMayores=
    masaRemovida_i_Mayores(RemvM,:);
    ErrormasaRemovida_i_OrdenadoMayores=ErrormasaRemovida_i_Mayores(RemvM,:);
    RCremovidoOrdenadoMayores=RCremovidoMayores(RemvM,:);
end
HT=relativo_m_i_pIncluido_trazas;
KT=relativo_m_i_pRemovido_trazas;
try
    [HT2, InclT]=sort(HT,'descend');
    ElemIncluidoOrdenadoTrazas=ElemIncluido_trazas(InclT,:);
    masaIncluida_i_OrdenadoTrazas=masaIncluida_i_trazas(InclT,:);
    ErrormasaIncluida_i_Ordenadotrazas=ErrormasaIncluida_i_trazas(InclT,:);
    RCIncluidoOrdenadoTrazas=RCIncluidoTrazas(InclT,:);
end
try
    [KT2, RemvT]=sort(KT,'descend');
    ElemRemovidoOrdenadoTrazas=ElemRemovido_trazas(RemvT,:);
    masaRemovida_i_OrdenadoTrazas=masaRemovida_i_trazas(RemvT,:);
    ErrormasaRemovida_i_Ordenadotrazas=ErrormasaRemovida_i_trazas(RemvT,:);
    RCremovidoOrdenadoTrazas=RCremovidoTrazas(RemvT,:);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Cálculo de variación volumétrica
try
    VolumenInicial=rho_p*MasaInicial;
    VolumenFinal=rho_s*MasaFinal;
    DeltaVolumen=100*(VolumenInicial-VolumenFinal)/VolumenInicial;
End
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Ploteo de ISOMASA elementos mayores
if plotea==1
    figure
    max_p=max(m_i_p);
    max_s=max(m_i_s);
    maximo=max([max_p max_s]);
    plot(m_i_p(1:cuantos_mayores-n),m_i_s(1:cuantos_mayores-n),'ro',...
    [0 maximo],[0 maximo],'b-');
    hold on

```

```

errorbar(m_i_p(1:cuantos_mayores-n),m_i_s(1:cuantos_mayores-
n),error_m_i_s(1:cuantos_mayores-n),'gx');
hold on
herrorbar(m_i_p(1:cuantos_mayores-n),m_i_s(1:cuantos_mayores-
n),sdx_(1:cuantos_mayores-n),'gx');
for k=1:cuantos_mayores-n
    text(m_i_p(k)+0.01,m_i_s(k),elemen(k+1,:))
end
axis([0 max_p*1.1 0 max_s*1.1]);
xlabel([Cp]);
ylabel([Cs]);
grid on;
location='Best';
title(['ISOMASA Elementos Mayores - conservado: '
(conservado)]);
legend('MANZ','Isomasa','Location',location);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Ploteo de ISOMASA elementos trazas
figure
max_p=max(m_i_p(cuantos_mayores+1:size(m_i_p,1)));
max_s=max(m_i_s(cuantos_mayores+1:size(m_i_s,1)));
maximo=max([max_p max_s]);

plot(m_i_p(cuantos_mayores+1:size(m_i_p,1)),m_i_s(cuantos_may
ores+1:size(m_i_s,1)),'ro',...
[0 maximo],[0 maximo],'b-');
hold on
errorbar(m_i_p(cuantos_mayores+1:size(m_i_p,1)),m_i_s(cuantos
_mayores+1:size(m_i_s,1)),error_m_i_s(cuantos_mayores+1:size(
error_m_i_s,1)),'gx');
hold on
herrorbar(m_i_p(cuantos_mayores+1:size(m_i_p,1)),m_i_s(cuanto
s_mayores+1:size(m_i_s,1)),sdx_(cuantos_mayores+1:size(sdx_,1
)), 'gx');
for k=cuantos_mayores:(size(elemen,1)-1)
    text(m_i_p(k)+0.0001,m_i_s(k),elemen(k+1,:));
end
axis([0 max_p*1.1 0 max_s*1.1]);
xlabel([Cp]);
ylabel([Cs]);
grid on;
location='Best';
title(['ISOMASA Elementos Trazas - conservado: '
(conservado)]);
legend('MANZ','Isomasa','Location',location);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% plotea los porcentajes de transferencia Incluidos
try
figure
bar(HM2,'r')
ylabel('dmi/mi_p (%)')

```

```

set(gca, 'YAxisLocation', 'left')
set(gca, 'XTick', 1:size(HM2))
set(gca, 'XTickLabel', (ElemIncluidoOrdenadoMayores))
set(gca, 'Xlim', [0 length(HM2)+1])
ax1=gca;
ax2=axes('Position', get(ax1, 'Position'), 'YAxisLocation', 'right', 'Color', 'none');
plot(masaIncluida_i_OrdenadoMayores, 'ko')
hold on
errorbar(masaIncluida_i_OrdenadoMayores, ErrormasaIncluida_i_OrdenadoMayores, 'gx');
ylabel('dmi (g)')
set(ax2, 'YAxisLocation', 'right', 'Color', 'none', 'XTickLabel', [])
set(ax2, 'Xlim', get(ax1, 'Xlim'))
title(['Porcentaje Incluido y masa incluida para inerte '
' (conservado) ' . ' (Cp) ' / ' (Cs)])
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure
bar(HT2, 'r')
ylabel('dmi/mi_p (%)')
set(gca, 'YAxisLocation', 'left')
set(gca, 'XTick', 1:size(HT2))
set(gca, 'XTickLabel', (ElemIncluidoOrdenadoTrazas))
set(gca, 'Xlim', [0 length(HT2)+1])
ax1=gca;
ax2=axes('Position', get(ax1, 'Position'), 'YAxisLocation', 'right', 'Color', 'none');
plot(masaIncluida_i_OrdenadoTrazas, 'ko')
hold on
errorbar(masaIncluida_i_OrdenadoTrazas, ErrormasaIncluida_i_OrdenadoTrazas, 'gx');
ylabel('dmi (g)')
set(ax2, 'YAxisLocation', 'right', 'Color', 'none', 'XTickLabel', [])
set(ax2, 'Xlim', get(ax1, 'Xlim'))
title(['Porcentaje Incluido y masa incluida para inerte '
' (conservado) ' . ' (Cp) ' / ' (Cs)])
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% Removidos
try
figure
bar(KM2, 'g')
ylabel('dmi/mi_p (%)')
set(gca, 'YAxisLocation', 'left')
set(gca, 'XTick', 1:size(KM2))
set(gca, 'XTickLabel', (ElemRemovidoOrdenadoMayores))
set(gca, 'Xlim', [0 length(KM2)+1])
ax1=gca;

```

```

ax2=axes('Position',get(ax1,'Position'),'YAxisLocation','right',
'Color','none');
plot(abs(masaRemovida_i_OrdenadoMayores),'ko')
hold on
errorbar(abs(masaRemovida_i_OrdenadoMayores),ErrormasaRemovida
a_i_OrdenadoMayores,'rx');
ylabel('dmi (g)')
set(ax2,'YAxisLocation','right','Color','none','XTickLabel',[
])
set(ax2,'XLim',get(ax1,'XLim'),'Layer','top')
title(['Porcentaje Removido y masa removida para inerte
' (conservado) '. ' (Cp) ' / ' (Cs)])
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

figure
bar(KT2,'g')
ylabel('dmi/mi_p (%)')
set(gca,'YAxisLocation','left')
set(gca,'XTick',1:size(KT2))
set(gca,'XTickLabel',(ElemRemovidoOrdenadoTrazas))
set(gca,'Xlim',[0 length(KT2)+1])
ax1=gca;
ax2=axes('Position',get(ax1,'Position'),'YAxisLocation','right',
'Color','none');
plot(abs(masaRemovida_i_OrdenadoTrazas),'ko')
hold on
errorbar(abs(masaRemovida_i_OrdenadoTrazas),ErrormasaRemovida
_i_trazas,'rx');
ylabel('dmi (g)')
set(ax2,'YAxisLocation','right','Color','none','XTickLabel',[
])
set(ax2,'XLim',get(ax1,'XLim'),'Layer','top')
title(['Porcentaje Removido y masa removida para inerte
' (conservado) '. ' (Cp) ' / ' (Cs)])
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% ploteo comparación Ms estimadas Mayores
figure
plot(MsMayoresComparadoNormOrdenado,'r*-')
hold on
errorbar(MsMayoresComparadoNormOrdenado,ErrorMsMayoresCompara
doNormOrdenado,'gx')
hold on
unos=ones(size(MsMayoresComparadoNormOrdenado));
plot(unos,'b--')
set(gca,'XTick',1:size(MsMayoresComparadoNormOrdenado)+1);
set(gca,'XTickLabel',(elemenMsMayoresComparadoOrdenado));
title(['Razón de masas estimadas para inerte ' (conservado)
'. ' (Cp) ' / ' (Cs)])
ylabel('Ms_inerte / Ms_especie')

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% ploteo comparación Ms estimadas Trazas
figure
plot(MsTrazasComparadoNormOrdenado,'r*-')
hold on
errorbar(MsTrazasComparadoNormOrdenado,ErrorMsTrazasComparado
NormOrdenado,'gx')
hold on
unos=ones(size(MsTrazasComparadoNormOrdenado));
plot(unos,'b--')
set(gca,'XTick',1:size(MsTrazasComparadoNormOrdenado));
set(gca,'XTickLabel',(elemenMsTrazasComparadoOrdenado));
title(['Razón de masas estimadas para inerte ' (conservado)
'. ' (Cp) ' / ' (Cs)])
ylabel('Ms_inerte / Ms_especie')
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Entrega de datos
try
dmi_Msk=dif_masa*100/MasaFinal;
A=num2cell(CinicialX);
A1=num2cell(xn_);
B=num2cell(m_i_p);
C=num2cell(CinicialY);
C1=num2cell(yn_);
D=num2cell(m_i_s);
Ea=num2cell(RCtot);
E=num2cell(dif_masa);
E1=num2cell(dmi_Msk);
Eb=num2cell(Errorordif_masa);
relativo=abs(dif_masa)/MasaInicial*100;
max_relativo=max(relativo);
F=num2cell(relativo);
G=num2cell(MsComparadoNorm);
I=num2cell(relativo_m_i_p_ConSigno);
J=num2cell(Error_relativo_m_i_p);
elementos=elemen(2:size(elemen,1),:);
T1=num2cell(ConcentracionX);
T2=num2cell(ConcentracionXnorm);
T3=num2cell(MasaInicial);
T4=num2cell(ConcentracionY);
T5=num2cell(ConcentracionYnorm);
T6=num2cell(MasaFinal);
T7=num2cell(sum(dif_masa));
Total=[cellstr('Total') T1 T2 T3 T4 T5 T6 cellstr('') T7
cellstr('') cellstr('') cellstr('') cellstr('') cellstr('')
cellstr('')];
nom=[cellstr(elementos) A A1 B C C1 D Ea E Eb G I J E1
cellstr(elementos)];
Tabla=[cellstr('Specie')...
cellstr('Ci unaltered')...
cellstr('Ci unaltered norm')...

```

```

cellstr('mi unaltered'),...
cellstr('Ci altered')...
cellstr('Ci altered norm')...
cellstr('mi altered')...
cellstr('CR')...
cellstr('dmi')...
cellstr('err. dmi')...
cellstr('Ms*/Ms Ratio')...
cellstr('dmi/mip')...
cellstr('Error dmi/mip')...
cellstr('dmi*100/Ms_k')...
cellstr('Specie']];nom;Total];

L1M=cellstr(ElemIncluidoOrdenadoMayores);
L1T=cellstr(ElemIncluidoOrdenadoTrazas);
L2M=num2cell(masaIncluida_i_OrdenadoMayores);
L2T=num2cell(masaIncluida_i_OrdenadoTrazas);
L2aM=num2cell(RCincluidoOrdenadoMayores);
L2aT=num2cell(RCincluidoOrdenadoTrazas);
L3M=cellstr(ElemRemovidoOrdenadoMayores);
L3T=cellstr(ElemRemovidoOrdenadoTrazas);
L4M=num2cell(masaRemovida_i_OrdenadoMayores);
L4T=num2cell(masaRemovida_i_OrdenadoTrazas);
L4aM=num2cell(RCremovidoOrdenadoMayores);
L4aT=num2cell(RCremovidoOrdenadoTrazas);
L5M=num2cell(masa_incluida_Mayores);
L5T=num2cell(masa_incluida_trazas);
L6M=num2cell(masa_removida_Mayores);
L6T=num2cell(masa_removida_trazas);
L7M=num2cell(HM2);
L7T=num2cell(HT2);
L8M=num2cell(KM2);
L8T=num2cell(KT2);
Tabla2M=[cellstr('Included Specie') cellstr('dmi')
cellstr('dmi/mip') cellstr('CR');L1M L2M L7M
L2aM;cellstr('Included Mass') L5M cellstr('') cellstr(')];
Tabla3M=[cellstr('Removed Specie') cellstr('dmi')
cellstr('dmi/mip') cellstr('CR');L3M L4M L8M L4aM;cellstr('Removed
Mass') L6M cellstr('') cellstr(')];
Tabla2T=[cellstr('Included Specie') cellstr('dmi')
cellstr('dmi/mip') cellstr('CR');L1T L2T L7T
L2aT;cellstr('Included Mass') L5T cellstr('') cellstr(')];
Tabla3T=[cellstr('Removed Specie') cellstr('dmi')
cellstr('dmi/mip') cellstr('CR');L3T L4T L8T L4aT;cellstr('Removed
Mass') L6T cellstr('') cellstr(')];
end
%%% Tablas ordenadas por masa movil y masa relativa a la masa
movil total
errHM3=0;
errKM3=0;
errHT3=0;
errKT3=0;

```

```

try
HM3=masaIncluida_i_Mayores;
for k=1:size(ErrormasaIncluida_i_Mayores,2)
    errHM3=errHM3+ErrormasaIncluida_i_Mayores(k)^2;
end
errHM3=sqrt(errHM3);
KM3=masaRemovida_i_Mayores;
for k=1:size(ErrormasaRemovida_i_Mayores,2)
    errKM3=errKM3+ErrormasaRemovida_i_Mayores(k)^2;
end
errKM3=sqrt(errKM3);
HT3=masaIncluida_i_trazas;
for k=1:size(ErrormasaIncluida_i_trazas,2)
    errHT3=errHT3+ErrormasaIncluida_i_trazas(k)^2;
end
errHT3=sqrt(errHT3);
KT3=masaRemovida_i_trazas;
for k=1:size(ErrormasaRemovida_i_trazas,2)
    errKT3=errKT3+ErrormasaRemovida_i_trazas(k)^2;
end
errKT3=sqrt(errKT3);
relativo_m_i_pIncluidoMovil_Mayores=masaIncluida_i_Mayores/masa_incluida;
relativo_m_i_pIncluidoMovil_trazas=masaIncluida_i_trazas/masa_incluida;
relativo_m_i_pRemovidoMovil_Mayores=masaRemovida_i_Mayores/masa_removida;
relativo_m_i_pRemovidoMovil_trazas=masaRemovida_i_trazas/masa_removida;
[HM4, InclM3]=sort(HM3, 'descend');
ElemIncluidoOrdenado2Mayores=ElemIncluidoMayores(InclM3,:);
relativo_m_i_pIncluidoMovilOrdenadoMayores=relativo_m_i_pIncluidoMovil_Mayores(InclM3,:);
RCincluidoOrdenadoMasaMayores=RCincluidoMayores(InclM3,:);
ErrormasaIncluida_i_Mayores_Ordenado=ErrormasaIncluida_i_Mayores(InclM3,:);
[HT4, InclT3]=sort(HT3, 'descend');
ElemIncluidoOrdenado2Trazas=ElemIncluido_trazas(InclT3,:);
relativo_m_i_pIncluidoMovilOrdenadoTrazas=relativo_m_i_pIncluidoMovil_trazas(InclT3,:);
RCincluidoOrdenadoMasaTrazas=RCincluidoTrazas(InclT3,:);
ErrormasaIncluida_i_trazas_Ordenada=ErrormasaIncluida_i_trazas(InclT3,:);
[KM4, RemvM3]=sort(KM3, 'ascend');
ElemRemovidoOrdenado2Mayores=ElemRemovido_Mayores(RemvM3,:);
relativo_m_i_pRemovidoMovilOrdenadoMayores=relativo_m_i_pRemovidoMovil_Mayores(RemvM3,:);
RCremovidoOrdenadoMasaMayores=RCremovidoMayores(RemvM3,:);
ErrormasaRemovida_i_Mayores_Ordenado=ErrormasaRemovida_i_Mayores(RemvM3,:);
[KT4, RemvT3]=sort(KT3, 'ascend');
ElemRemovidoOrdenado2Trazas=ElemRemovido_trazas(RemvT3,:);

```



```

relativo_m_i_pRemovidoMovilOrdenadoTrazas=relativo_m_i_pRemovidoMo
vil_trazas(RemvT3,:);
RCremovidoOrdenadoMasaTrazas=RCremovidoTrazas(RemvT3,:);
ErrormasaRemovida_i_trazas_Ordenado=ErrormasaRemovida_i_trazas(Rem
vT3,:);
N1M=cellstr(ElemIncluidoOrdenado2Mayores);
N2M=num2cell(HM4);
N2Merr=num2cell(ErrormasaIncluida_i_Mayores_Ordenado);
N3M=cellstr(ElemRemovidoOrdenado2Mayores);
N4M=num2cell(KM4);
N4Merr=num2cell(ErrormasaRemovida_i_Mayores_Ordenado);
N5M=num2cell(sum(HM4));
N5Merr=num2cell(errHM3);
N6M=num2cell(sum(KM4));
N6Merr=num2cell(errKM3);
N7M=num2cell(relativo_m_i_pIncluidoMovilOrdenadoMayores*100);
N7aM=num2cell(RCincluidoOrdenadoMasaMayores);
N8M=num2cell(relativo_m_i_pRemovidoMovilOrdenadoMayores*100);
N8aM=num2cell(RCremovidoOrdenadoMasaMayores);
Tabla4M=[cellstr('Included Specie') cellstr('dmi')
cellstr('Err.dmi') cellstr('dmi/Incl.Mass') cellstr('CR');N1M N2M
N2Merr N7M N7aM;cellstr('Included Mass') N5M N5Merr cellstr('')
cellstr('')];
Tabla5M=[cellstr('Removed Specie') cellstr('dmi')
cellstr('Err.dmi') cellstr('dmi/Rem.Mass') cellstr('CR');N3M N4M
N4Merr N8M N8aM;cellstr('Removed Mass') N6M N6Merr cellstr('')
cellstr('')];
G1M=num2cell(MsMayoresComparadoNormOrdenado);
Tabla6M=[cellstr('Specie') cellstr('Ms*/Ms
Ratio');cellstr(elemenMsMayoresComparado) G1M];
N1T=cellstr(ElemIncluidoOrdenado2Trazas);
N2T=num2cell(HT4);
N2Terr=num2cell(ErrormasaIncluida_i_trazas_Ordenada);
N3T=cellstr(ElemRemovidoOrdenado2Trazas);
N4T=num2cell(KT4);
N4Terr=num2cell(ErrormasaRemovida_i_trazas_Ordenado);
N5T=num2cell(sum(HT4));
N5Terr=num2cell(errHT3);
N6T=num2cell(sum(KT4));
N6Terr=num2cell(errKT3);
N7T=num2cell(relativo_m_i_pIncluidoMovilOrdenadoTrazas*100);
N7aT=num2cell(RCincluidoOrdenadoMasaTrazas);
N8T=num2cell(relativo_m_i_pRemovidoMovilOrdenadoTrazas*100);
N8aT=num2cell(RCremovidoOrdenadoMasaTrazas);
Tabla4T=[cellstr('Included Specie') cellstr('dmi')
cellstr('Err.dmi') cellstr('dmi/Incl.Mass') cellstr('CR');N1T N2T
N2Terr N7T N7aT;cellstr('Included Mass') N5T N5Terr cellstr('')
cellstr('')];
Tabla5T=[cellstr('Removed Specie') cellstr('dmi')
cellstr('Err.dmi') cellstr('dmi/Rem.Mass') cellstr('CR');N3T N4T

```

```

N4Terr N8T N8aT;cellstr('Removed Mass') N6T N6Terr cellstr('')
cellstr('');
    G1M=num2cell(MsTrazasComparadoNormOrdenado);
    Tabla6T=[cellstr('Specie') cellstr('Ms*/Ms
Ratio');cellstr(elemenMsTrazasComparado) G1M];
end

try
    display(['Para el elemento inerte ' (conservado) ', durante la
transferencia de masa desde ' (Cp) ' a ' (Cs)];
end
try
    display(['La masa estimada de la roca alterada es: '
num2str(Ms_inerte) 'g +- ' num2str(ErrorMasaFinal)]);
end
try
    disp(['La diferencia de masa es: ' num2str(Ms_inerte-
MasaInicial) 'g suponiendo 100g de protolito.']);
end
try
    errMasaIncluida=errHM3+errHT3;
    disp(['Fueron incluidos ' num2str(masa_incluida) '+-'
num2str(errMasaIncluida) 'g']);
end
try
    errMasaRemovida=errKM3+errKT3;
    disp(['y fueron removidos ' num2str(abs(masa_removida)) '+-'
num2str(errMasaRemovida) 'g']);
end
try
    disp(['Lo cual corresponde a un cambio de volumen de '
num2str(DeltaVolumen) '%.']);
end
try
    disp(['El componente mayoritario más incluido es: '
ElemIncluidoOrdenadoMayores(1,:)]);
end
try
    disp(['El componente mayoritario más removido es: '
ElemRemovidoOrdenadoMayores(1,:)]);
end
try
    disp(['El componente trazas más incluido es: '
ElemIncluidoOrdenadoTrazas(1,:)]);
end
try
    disp(['El componente trazas más removido es: '
ElemRemovidoOrdenadoTrazas(1,:)]);
end
try

```

```

        disp(['El componente mayoritario menos incluido es: '
ElemIncluidoOrdenadoMayores(size(ElemIncluidoOrdenadoMayores,1),:)
]);
end
try
    disp(['El componente mayoritario menos removido es: '
ElemRemovidoOrdenadoMayores(size(ElemRemovidoOrdenadoMayores,1),:)
]);
end
try
    disp(['El componente trazas menos incluido es: '
ElemIncluidoOrdenadoTrazas(size(ElemIncluidoOrdenadoTrazas,1),:)]
);
end
try
    disp(['El componente trazas menos removido es: '
ElemRemovidoOrdenadoTrazas(size(ElemRemovidoOrdenadoTrazas,1),:)]
);
end

if isempty(ElementoInerteMayores)==0
    if size(ElementoInerteMayores,1)==1
        disp(['El componente mayoritario conservado es: '
(ElementoInerteMayores)]);
    elseif size(ElementoInerteMayores,1)==2
        disp(['Los componentes mayoritarios conservados son: '
(ElementoInerteMayores(1,:)) 'y ' (ElementoInerteMayores(2,:))]);
    elseif size(ElementoInerteMayores,1)==3
        disp(['Los componentes mayoritarios conservados son: '
(ElementoInerteMayores(1,:)) ', ' (ElementoInerteMayores(2,:)) 'y
' (ElementoInerteMayores(3,:))]);
    end
elseif isempty(ElementoInerteMayores)==1
    try
        disp(['El componente mayoritario más conservado es: '
(ElementoMasInerteMayores)]);
    end
end
if isempty(ElementoInerteTrazas)==0
    if size(ElementoInerteTrazas,1)==1
        disp(['El componente trazas conservado es: '
(ElementoInerteTrazas)]);
    elseif size(ElementoInerteTrazas,1)==2
        disp(['Los componentes trazas conservados son: '
(ElementoInerteTrazas(1,:)) 'y ' (ElementoInerteTrazas(2,:))]);
    elseif size(ElementoInerteTrazas,1)==3
        disp(['Los componentes trazas conservados son: '
(ElementoInerteTrazas(1,:)) ', ' (ElementoInerteTrazas(2,:)) 'y '
(ElementoInerteTrazas(3,:))]);
    end
elseif isempty(ElementoInerteTrazas)==1
    try

```

```
        disp(['El componente trazas más conservado es: '
(ElementoMasInerteTrazas)]);
    end
end
try
disp(['La diferencia de masa en Fe es: ' num2str(dif_masaFe)]);
end
```

Función: identifica_conservados (Correlación estimaciones de Ms pares de elementos como denominadores)

Function identifica_conservados(TablaMsComparado, GrupoMuestras, ExigeCoeficiente) **Entrega como salida:** Datos de correlación y gráficos de razones de masa de sistemas secundarios.

```

Coeficiente_aux=ExigeCoeficiente;
m=1;
for j=2:size(TablaMsComparado,1)
    var1=cell2mat(TablaMsComparado(j,2:size(TablaMsComparado,2)));
    k=j+1;
    while k<=size(TablaMsComparado,1)
        var2=cell2mat(TablaMsComparado(k,2:size(TablaMsComparado,2)));
        Correlaciona=corrcoef(var1,var2);
        Coeficiente(j-1,k-2)=Correlaciona(1,2);
        if k>size(TablaMsComparado,1)
            break
        end
        if Correlaciona(1,2)>=Coeficiente_aux
            Coeficiente_guardar=Correlaciona(1,2);
            Par(m,:)=[TablaMsComparado(j,1) TablaMsComparado(k,1)
                num2cell(Coeficiente_guardar)];
            m=m+1;
        end
        k=k+1;
    end
    j=j+1;
    if j==size(TablaMsComparado,1)
        break
    end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
load Color
CuantasMuestras=size(GrupoMuestras,2)-1;
M=1:(CuantasMuestras):(size(TablaMsComparado,2))-1;
GrupoColor=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12];
Diferencia_inicial=1;
min_b=1;
for h=1:size(Par,1)
    X=dato_MERisoc(char(Par(h,1)),TablaMsComparado);size(X);
    Y=dato_MERisoc(char(Par(h,2)),TablaMsComparado);size(Y);
    figure
    ejeX=char(Par(h,1));
    ejeY=char(Par(h,2));
    p=1;
    for k=1:(size(M,2))
        m=M(k);
        %           k
        x=X(m:m+CuantasMuestras-1);
        y=Y(m:m+CuantasMuestras-1);

```

```

        GColor=GrupoColor(p);
        colorete=Color.(genvarname(['G' num2str(GColor)]));
        plot(x,y,colorete(k,:))
        hold on
        p=p+1;
        if p>7
            p=1;
        end
    end
    k=1;
    valor_mayorXY=max([max(X) max(Y)]);
    plot([0 valor_mayorXY],[0 valor_mayorXY],'k--')
    hold on
    title(['Correlación estimación Ms comparado'])
    xlabel([ejeX]);
    ylabel([ejeY]);
    annotation('textbox',[0.2 0.3 0.1 0.3],'String',['Coeficiente
    correlación ' Par(h,3)],'EdgeColor','none')
    b1=X\Y;
    EQUIS=[ones(length(X),1) X];
    b=EQUIS\Y;
    B1(h)=b1;
    B(h,:)=b;
    yCalc2=EQUIS*b;
    plot(X,yCalc2,'c--')
    Diferencia_m(h)=abs(b(2)-1);
    if Diferencia_m(h)<Diferencia_inicial
        Diferencia_inicial=Diferencia_m(h);
        Minimiza_m=[cellstr(ejeX) cellstr(ejeY)];
    end
    end
    if abs(b(1))<abs(min_b)
        min_b=b(1);
        Minimiza_b=[cellstr(ejeX) cellstr(ejeY)];
    end
    end
end
Minimiza_m;
Minimiza_b;
TablaCoeficientes=[{'Elementos'}
cellstr(TablaMsComparado(3:size(TablaMsComparado,1)));...
cellstr(TablaMsComparado(2:size(TablaMsComparado,1)-1))'
num2cell(Coeficiente)];
xlswrite('CorrelacionMScomparado', TablaCoeficientes);
Interceptos=num2cell(B(:,1));
Pendientes=num2cell(B(:,2));
Pendiente_Menos_Uno=num2cell(abs(1-B(:,2)));
[Correlacion, ordenTabla]=sort(cell2mat(Par(:,3)),'descend');
Para_Ordenar_nuevo(:,1)=Par(ordenTabla,1);
Para_Ordenar_nuevo(:,2)=Par(ordenTabla,2);
Para_Ordenar_nuevo(:,3)=num2cell(Correlacion);
Intercepto_ordenado=Interceptos(ordenTabla,:);
Para_Ordenar_nuevo(:,4)=Intercepto_ordenado;
Pendiente_ordenada=Pendientes(ordenTabla,:);

```

```
Pendiente_Menos_Uno_Ordenada=Pendiente_Menos_Uno(ordenTabla,:);
Para_Ordenar_nuevo(:,5)=Pendiente_ordenada;
Para_Ordenar_nuevo(:,6)=Pendiente_Menos_Uno_Ordenada;
TablaPar=[cellstr('X') cellstr('Y') cellstr('R')
cellstr('Intercepto') cellstr('m') cellstr('|m-
1|');Para_Ordenar_nuevo];
xlswrite('TablaParesConservados', TablaPar);
```